



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA Y LOS PANELES METALICOS DE DESECHO POST INDUSTRIAL DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ PARA USO EN LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA RURAL

Ingeniero Victor Hugo Enriquez Mosquera

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá D. C. COLOMBIA
2014

CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA Y LOS PANELES METALICOS DE DESECHO POST INDUSTRIAL DE LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ PARA USO EN LA CONSTRUCCION DE VIVIENDA RURAL

Ingeniero Victor Hugo Enriquez Mosquera

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar
al título de:

Magister en Ingeniería Civil - Estructuras

DIRECTOR:

Ingeniero José Ricardo Martínez Vargas
Magister en Ingeniería Civil - Estructuras

LINEA DE INVESTIGACION:
MATERIALES

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola
Bogotá D. C. COLOMBIA
2014

Al mirar tus ojos veo la continuación de mi vida
Cuando hablo de ti me lleno de alegría
Estoy enamorado de tu sonrisa
Querida hija mía

Adeley Veronica Enriquez Castro

Agradecimientos

A mis profesores de la maestría que brindaron sus conocimientos en la formación de un grupo de profesionales honestos y comprometidos con el desarrollo social y económico de nuestro país, del cual tuve el privilegio de pertenecer, Ing. Dorian Linero, Ing. Juan Manuel Lizarazo, Ing. Gabriel Francisco Valencia Clement, Ing. Fernando Espinel Gómez, Ing. Juan Tamasco Torres.

Al personal del laboratorio de estructuras, materiales, concretos y carpintería, de los departamentos de Ingeniería Civil e Ingeniería Mecánica, por su paciencia, apoyo y dedicación en el desarrollo de los ensayos que alimentaron el trabajo final de Maestría, Pedro Camo, Dario Moreno Pineda, Pastor Riaño, Diego Felipe Romero Sicacha.

A las profesoras de la Universidad Nacional de Colombia que me colaboraron con el desarrollo de esta investigación con sus consejos y conocimientos ofrecidos, Ingeniera Caori Patricia Takeuchi Tam del departamento de Ingeniería Civil y agrícola, Ingeniera Irma Angarita del departamento de Ingeniería Mecánica.

Al Ingeniero José Ricardo Martínez Vargas Director de mi trabajo final de maestría que siempre estuvo al frente del desarrollo experimental y teórico de la investigación, aportando sus conocimientos y sus buenos oficios.

A mis padres que desde el principio han sido mis mentores, mis amigos y los cómplices de los triunfos de mi vida, Rafael Edmundo Enriquez Córdoba y Mercedes Mosquera Díaz.

A mi sobrina siempre inquieta por aprender lo que hago y dulce en su manera de vivir, Andrea Gabriela Perez Enriquez.

A mi esposa, amor incondicional y creador de vida que formas parte de mi vida y me brindas el calor y la seguridad de una hermosa familia, Astrid Vivian Castro Díaz.

A mi hermosa hija, que con su sonrisa ilumina mi espíritu cada día, Adeley Veronica Enriquez Castro.

NOTA DE ACEPTACION

Firma del presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D. C. Febrero de 2014

Firma del Director de Maestría en Estructuras
Ingeniero Dorian Luis Linero Segrera

Firma del Director del trabajo final de Maestría
Ingeniero José Ricardo Martínez Vargas

Firma del estudiante dirigido
Ingeniero Victor Hugo Enriquez Mosquera

RESUMEN

Existen en el mundo entero construcciones sub normales hechas a partir de una infinidad de materiales no convencionales, todos ellos reciclados; algunas de estas construcciones tienen algún carácter de seguridad ante eventos catastróficos naturales y también cuentan con algún tipo de diseño funcional dado por el propietario, que responde a las necesidades de vivienda o negocio particular; así mismo, la gran mayoría de estas construcciones carecen de seguridad ante los eventos catastróficos y también de un desarrollo estético debido a la dificultad que presentan los materiales en estas dos características de la construcción sub normal.

El desarrollo de este trabajo de investigación fue inspirado en la búsqueda de materiales reciclados óptimos para la construcción de vivienda rural productiva, con la posibilidad de realizar un diseño estructural a partir de valores conocidos de la repuesta mecánica de estos materiales ante las cargas normales de una edificación, para lo cual, se llevaron a cabo ensayos destructivos sobre probetas de especímenes definidos dentro de una fuente con suministro sostenible en el tiempo.

Con los resultados de los ensayos practicados, se definieron protocolos de selección de materiales, se trazaron curvas esfuerzo – deformación y se definieron magnitudes de propiedades mecánicas aplicables al diseño estructural usando estos materiales de reciclaje.

Palabras Clave: Material arquitectónico estructural sostenible A. E. S; Material de reciclaje, defecto de la madera, clasificación visual, Análisis químico.

ABSTRACT

There are worldwide normal sub constructions made from a myriad of unconventional materials , all recycled , some of these buildings have a security aspect to natural catastrophic events and also have some kind of functional design given by the owner, responding to the housing needs or particular business , likewise, the vast majority of these buildings lack safety from catastrophic events as well as an aesthetic development because of the difficulty presented by the materials in these two characteristics of normal sub construction .

The development of this research was inspired by the search for optimal recycled materials for the construction of productive rural housing, with the possibility of a structural design from known

values of the mechanical response of these materials at normal loads of edification, which were carried out on specimens destructive testing of specimens defined within a sustainable supply source in time.

With the results of the performed tests , material selection protocols defined , curves were plotted stress - strain and magnitudes of mechanical properties apply to the structural design defined using these materials recycling.

Keywords: Sustainable structural architectural Material, Recycling material, Timber defects, visual classification, Chemical analysis.

INDICE GENERAL

RESUMEN	8
ABSTRACT	8
LISTA DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y GRÁFICAS	14
INTRODUCCIÓN	17
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	19
OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
Objetivo general:	22
Objetivos específicos:	22
ALCANCE DEL TRABAJO FINAL DE MAESTRIA	23
Alcance	23
CAPITULO 1	24
CARACTERISTICAS DE UNA CONSTRUCCION SUBNORMAL	24
1. EXPLORACION DE VIVIENDA SUB NORMAL	24
1.1. Características de una vivienda normal:	24
1.2. Exploración de construcciones sub-normales	25
1.3. Descripción de materiales identificados	32
1.3.1. Perfiles de madera	32
1.3.2. Láminas de madera con perfiles de madera	32
1.3.3. Láminas metálicas reforzadas	33
1.3.4. Otros materiales encontrados	34
1.4. Fuente de materiales	34
1.4.1. Uso y aplicabilidad	36
CAPITULO 2,	39
ESTUDIO DE LOS PERFILES DE MADERA ENCONTRADOS	39
2. ESCOGENCIA E IDENTIFICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES:	39
2.1. Escogencia de los especímenes	39
2.2. Identificación de los especímenes	40
CAPITULO 3	43
CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA DISPONIBLE EN LA FUENTE	43

3. Dimensiones de la madera	44
3.1. Madera no estructural	44
3.2. Madera estructural	45
3.2.1. Contenido de humedad	45
3.2.2. Durabilidad natural y preservación	45
3.3. CLASIFICACIÓN VISUAL POR DEFECTOS PARA MADERA ESTRUCTURAL	46
3.3.1. Alabeo por abarquillado	46
3.3.2. Alabeo por arqueadura	46
3.3.3. Alabeo por encorvadura	46
3.3.4. Alabeo por torcedura	47
3.3.5. Arista faltante	47
3.3.6. Duramen quebradizo	47
3.3.7. Escamadura o acebolladura	47
3.3.8. Fallas de compresión	47
3.3.9. Grano inclinado	48
3.3.10. Grieta	48
3.3.11. Médula	48
3.3.12. Nudo sano	48
3.3.13. Nudo hueco	48
3.3.14. Nudos arracimados	49
3.3.15. Parénquima	49
3.3.16. Perforaciones Pequeñas y grandes	49
3.3.17. Rajaduras	50
3.3.18. Manchas	50
3.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES RESISTENTES DE LOS ESPECIMENES DE MADERA DE LA FUENTE	51
3.4.1. Contenido de humedad:	52
3.4.2. Cambios dimensionales:	53
3.4.3. Densidad y peso específico:	53
3.4.4. Resistencia a la compresión paralela y perpendicular:	54
3.4.5. Resistencia a la tracción	55
3.4.6. Resistencia al corte	56
3.4.7. Resistencia a la flexión paralela a la fibra	56
3.4.8. Módulo de elasticidad y módulo de rigidez	56
3.5. CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LOS ESPECIMENES DE LA FUENTE	56
3.6. PROCESO DE OBTENCIÓN DE PROBETAS	60
3.7. ENSAYOS PRACTICADOS SOBRE PROBETAS DE LOS ESPECIMENES DE MADERA DE LA FUENTE	64
CAPÍTULO 4	66
ESTUDIO DE LOS PERFILES METÁLICOS ENCONTRADOS	66
4. ESCOGENCIA E IDENTIFICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES:	66
4.1. ENSAYO DE TENSION PARA ESPECIMENES METÁLICOS	67

4.2.	ENSAYO DE ANALISIS QUIMICO PARA CLASIFICACION DE ACEROS Y METALES	71
CAPITULO 5		74
DESARROLLO DE LA CARACTERIZACION DE LOS ESPECIMENES DE MADERA		74
5.1.	DENSIDAD DE LA MADERA	74
5.2.	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ESPECIMENES Y CORRECCION POR HUMEDAD	81
5.3.	DEFINICIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN	89
5.4.	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS CON BASE EN LOS DATOS EXPERIMENTALES	90
5.4.1.	Descripción del Método A empleado	91
5.4.2.	Primer corrección por humedad	92
5.4.3.	Criterio de Chauvenet	92
5.4.4.	Intervalos de confianza	94
5.5.	ENSAYO DE FLEXION EN PROBETAS – ESFUERZO AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD, ESFUERZO ULTIMO Y MODULO DE ELASTICIDAD	95
5.5.1.	Protocolo para Ensayo de Flexión en probetas:	95
5.5.2.	Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad especifica	98
5.6.	ENSAYO DE TENSION PARALELA A LA FIBRA FLEXION EN PROBETAS – ESFUERZO ULTIMO	115
5.6.1.	Protocolo para Ensayo de Tensión paralela a la fibra en probetas:	116
5.6.2.	Estimación del valor probable y de la relación Propiedad – Gravedad especifica	117
5.7.	ENSAYO DE COMPRESION PARALELA EN PROBETAS – ESFUERZO DE AL LIMITE DE PORPORCIONALIDAD, ESFUERZO ULTIMO Y MODULO DE ELASTICIDAD	119
5.7.1.	Protocolo para Ensayo de compresión paralela en probetas:	120
5.7.2.	Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad especifica	122
5.8.	ENSAYO DE COMPRESION PERPENDICULAR EN PROBETAS – ESFUERZO AL 1% DE DEFORMACION, ESFUERZO AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD Y MODULO DE ELASTICIDAD	125
5.8.1.	Protocolo para Ensayo de compresión perpendicular en probetas:	126
5.8.2.	Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad especifica	128
5.9.	ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR EN PROBETAS – ESFUERZO ULTIMO	133
5.9.1.	Protocolo para Ensayo de tracción perpendicular en probetas:	133
5.9.2.	Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad especifica	135
5.10.	ENSAYO DE CORTE PARALELO EN PROBETAS – ESFUERZO ULTIMO	137
5.10.1.	Protocolo para Ensayo de corte paralelo en probetas:	137
5.10.2.	Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad especifica	139
5.11.	RESUMEN DE LAS PROPIEDADES ENCONTRADAS	141
CAPITULO 6		144
DESARROLLO DE LA CARACTERIZACION DE LOS ESPECIMENES METALICOS		144
6.1.	Selección de los especímenes	145

6.2. CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DEL PERFIL METALICO DISPONIBLE EN LA FUENTE	146
6.3. CLASIFICACIÓN VISUAL POR DEFECTOS PARA PERFIL METALICO ESTRUCTURAL	147
6.3.1. CARACTERIZACION VISUAL DE LOS ESPECIMENES DE LA FUENTE	148
6.4. ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE LOS ESPECIMENES METALICOS DE LA FUENTE	150
6.5. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA MEDIANTE ABSORCIÓN ATÓMICA	151
6.5.1. Aplicación del análisis químico por absorción a las probetas extraídas	153
6.5.2. Descripción de los resultados	162
6.5.3. CLASIFICACIÓN DEL ACERO SEGÚN NORMA SAE – AISI	162
6.6. ENSAYO DE TENSION SOBRE PROBETAS	167
6.6.1. Módulo de elasticidad:	173
6.6.2. Esfuerzo último y esfuerzo de fluencia:	175
CAPITULO 7	176
PRUEBAS DE CARGA A ELEMENTOS DESPIEZADOS	176
7.1. Obtención de materiales	176
7.2. Clasificación visual de los materiales	176
7.3. Protocolo de pruebas	190
7.3.1. Vigas simplemente apoyadas:	190
7.3.2. Columnas simplemente apoyadas:	193
7.3.3. Desarrollo de los ensayos de Flexión en vigas de madera y metálicas:	193
7.3.4. Desarrollo de los ensayos de compresión en puntales con extremos simplemente apoyados:	199
CAPITULO 8	205
COMPARACION DE COSTOS FRENTE A MATERIALES NUEVOS	205
8.1. Material de madera	205
8.2. Material metálico	206
8.3. Costo de la estructura	206
CONCLUSIONES	207
Conclusiones sobre construcciones sub normales	207
Conclusiones sobre especímenes de madera	207
Conclusiones sobre especímenes metálicos	211
Conclusiones sobre elementos completos	213
Conclusiones generales:	214
RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJOS	215
BIBLIOGRAFIA	216
LISTADO DE ANEXOS	219

LISTA DE FIGURAS, FOTOGRAFÍAS Y GRÁFICAS

Figura 1: esquema de organización de probetas dentro de un espécimen de la fuente	58
Figura 10. Extracto de la norma NSR-10 sobre factores de modificación de resistencia.....	144
Figura 11: Obtención de puntaje para clasificación visual de perfiles metálicos	151
Figura 12: Formato de clasificación visual para especímenes metálicos	152
Figura 13: Esquema de aplicación del análisis por absorción atómica	154
Figura 14, esquema de carga de vigas y puntales.....	192
Figura 3: Formato para clasificación visual de especímenes de la fuente	61
Figura 4: Resumen de la clasificación visual efectuada a los especímenes adquiridos en la fuente.....	62
Figura No 2: Obtención de puntaje máximo y mínimo para clasificación visual de perfiles	60
Figura No 5: Identificación de las probetas para ensayos.....	66
Figura No 6, Variación de la resistencia a la flexión respecto al contenido de humedad	88
Figura No 7, Influencia del contenido de humedad.....	89
Figura No 8, Factor de corrección por contenido de humedad - NSR-10	90
Figura No 9, Probeta para ensayo de tensión paralela a la fibra, norma NTC 944	117
Fotografía 100, Ensayo del puntal S2.....	202
Fotografía 101, Placa de comandos de la T. O.....	202
Fotografía 102, Montaje del puntal MA30	203
Fotografía 103, Ensayo del puntal MA31.....	203
Fotografía 104, Puntales sin ensayar	203
Fotografía 105, Puntales metálicos ensayados.....	203
Fotografía 106, Puntales de madera ensayados.....	203
Fotografía 107, Falla del puntal MA30.....	203
Fotografía 108, Falla del puntal MA31.....	204
Fotografía 109, Falla del puntal MA32.....	204
Fotografía 110, Falla del puntal MA33.....	204
Fotografía 111, Falla típica de puntal metálico	204
Fotografía 112, Falla típica de puntal metálico	205
Fotografía 113, Falla típica de puntal metálico	205
Fotografía 60, Rasgado por oxicorte.....	147
Fotografía 61, Corte o rasgado por pulidora.....	147
Fotografía 62, Aplastamiento en extremo.....	147
Fotografía 63, aplastamiento en el cuerpo	147
Fotografía 64, Espécimen metálico No 1	170
Fotografía 65, Espécimen metálico No 2	170
Fotografía 66, Espécimen metálico No 3	170
Fotografía 67, Espécimen metálico No 4	170
Fotografía 68, Espécimen metálico No 5	170
Fotografía 69, Espécimen metálico No 6	170
Fotografía 70, Espécimen metálico No 7	171
Fotografía 71, Espécimen metálico No 8	171
Fotografía 78, montaje de Vm-1	196

Fotografía 79, montaje de Vm-2	196
Fotografía 80, montaje de Vm-3	196
Fotografía 81, montaje de Vm-4	196
Fotografía 82, montaje de Vs-1	196
Fotografía 83, montaje de Vs-2	196
Fotografía 84, montaje de Vs-3	196
Fotografía 85, montaje de Vs-4	196
Fotografía 87, Vigas de madera ensayadas	197
Fotografía 88 Modo de falla de Vm - 4	197
Fotografía 89, Modo de falla de Vm - 2	197
Fotografía 90 Modo de falla de Vm - 1	197
Fotografía 91, Modo de falla de Vm - 3	197
Fotografía 92 Vigas metálicas sin ensayar	199
Fotografía 93, Vigas metálicas ensayadas	199
Fotografía 94 Modo de falla de Vs - 3	199
Fotografía 95, Modo de falla de Vs - 1	199
Fotografía 96 Modo de falla de Vs - 2	199
Fotografía 97, Modo de falla de Vs - 4	199
Fotografía 98 Montaje del puntal S1	202
Fotografía 99, Montaje del puntal S5	202
Fotografía No 1-	28
Fotografía No 10	30
Fotografía No 11	30
Fotografía No 12	30
Fotografía No 13	31
Fotografía No 14	31
Fotografía No 15	31
Fotografía No 16	31
Fotografía No 17	32
Fotografía No 18	32
Fotografía No 19	32
Fotografía No 2-	28
Fotografía No 20	32
Fotografía No 21	33
Fotografía No 22	33
Fotografía No 23	33
Fotografía No 24	33
Fotografía No 25	35
Fotografía No 26	35
Fotografía No 27	35
Fotografía No 28	36
Fotografía No 29	39
Fotografía No 3	28
Fotografía No 30	39
Fotografía No 31	39
Fotografía No 32	39
Fotografía No 33	40
Fotografía No 34	40
Fotografía No 35	40
Fotografía No 36	42
Fotografía No 37	43
Fotografía No 38	43
Fotografía No 39	44
Fotografía No 4	28
Fotografía No 5	29
Fotografía No 52 Especímenes metálicos de la fuente	69

Fotografía No 53 Especímenes metálicos de la fuente.....	70
Fotografía No 54 Probetas para ensayo de tensión sobre especímenes metálicos.....	71
Fotografía No 55 Platinas de sujeción sin retirar del perfil sin afectación por rasgado.....	72
Fotografía No 56 Elaboración de las probetas para el ensayo de tensión sobre metales.	73
Fotografía No 57 Porciones de tubería con una cara limpia a nivel de metal blanco.....	74
Fotografía No 58 Platina y contra-platina de cada espécimen.	74
Fotografía No 59 Platinas con las quemaduras realizadas.	75
Fotografía No 6	29
Fotografía No 7	29
Fotografía No 8	29
Fotografía No 9	30
Fotografías 72 y 73, Probetas para el ensayo de tensión, Perfiles metálicos EM5 a EM8.....	171
Fotografías 74 y 75, Probetas para el ensayo de tensión, Perfiles metálicos EM1 a EM4.....	171
Fotografías 76 y 77, Anillo de varilla alrededor del perfil en los apoyos y puntos de carga	193
Fotografías No 41 y 42: Especímenes limpios mediante cepillado y libres de puntillas y grapas	63
Fotografías No 43 y 44: Especímenes limpios mediante cepillado y libres de puntillas y grapas	64
Fotografías No 45, 46 y 47 Prismas cortados para elaboración de probetas de tensión paralela	65
Fotografías No 48, 49, 50 y 51 Proceso de corte y separación de las briquetas maquinadas	66
Gráfica 1, Densidad básica promedio calculada de los especímenes de la fuente	80
Gráfica 2, Densidad básica promedio calculada de los especímenes de la fuente	84
Gráfica No 10, Dispersión de datos para el módulo de elasticidad.....	133
Gráfica No 11, Dispersión de datos para el esfuerzo de rotura	133
Gráfica No 3, Dispersión de datos para el esfuerzo de fluencia	102
Gráfica No 4, Dispersión de datos para el módulo de elasticidad.....	103
Gráfica No 5, Dispersión de datos para el esfuerzo de rotura	103
Gráfica No 6, Dispersión de datos para el esfuerzo de fluencia	125
Gráfica No 7, Dispersión de datos para el módulo de elasticidad.....	125
Gráfica No 8, Dispersión de datos para el esfuerzo de rotura	126
Gráfica No 9, Dispersión de datos para el esfuerzo al 1% de la deformación.....	132

INTRODUCCIÓN

Sabiendo que la parte técnica es el pilar para el desarrollo de un proyecto de investigación sobre materiales “ **Arquitectónicos, Estructurales y Sostenibles <A E S>**” como se han denominado desde su concepción los que aquí se estudiaron, toma mucha importancia el hecho de saber que la idea original nació de la mentalidad ambientalista y social del autor.

Desde hace ya varias décadas, el ser humano ha venido tomando conciencia de la degradación ambiental del planeta debido entre otros varios factores, (de los cuales solo mencionamos dos), al desarrollo industrial desmesurado y a la sobrepoblación; estos dos factores, nos proporcionan la motivación básica para el desarrollo de la investigación sobre los llamados “**A E S**”. El desarrollo industrial nos deja como resultado de sus procesos de transformación de materias primas a productos terminados, residuos sólidos, líquidos, gaseosos, etc., los cuales tienen una disposición final legal o ilegal, que para efectos de practicidad, define si estos residuos son declarados deshecho o reciclaje; entre tanto, la sobrepoblación, que de la mano con las dificultades económicas, aporta problemáticas sociales en cuanto a la solución de vivienda, hacinamiento, mala calidad de vida, etc.

No es el propósito de esta investigación el buscar una solución a la problemática social de la falta de vivienda económica y digna, ni mucho menos para mitigar el impacto ambiental de los residuos industriales; conforme a lo ya mencionado, es mejor plantear que estas dos situaciones, nos suministran la materia prima para desarrollar un proyecto de arquitectura auto sostenible en donde se conjugan conceptos como el diseño arquitectónico, buen desempeño estructural, comodidad de hábitat, auto construcción, actividades de reciclaje como fuente de materiales de construcción, mejoramiento de la calidad de vida y todo dentro de un marco ambiental y social; por lo tanto, la primer etapa para abordar esta investigación, es encontrar un tipo de material que en el cuál converjan los conceptos de los materiales “**A E S**”.

Es necesario aclarar que las siglas “**A E S**”, corresponden a los materiales que son arquitectónicos, estructurales y sostenibles y que son un intento del autor de este documento por acuñar en el pensamiento de los lectores, un concepto de conservación ambiental y social enmarcado en la reutilización de materiales reciclados como materia prima de construcción; la conceptualización de los materiales “**A E S**” se explica a continuación:

A – Arquitectónicos, en cuyo concepto se conciben construcciones cómodas, bellas y funcionales, dentro de un estándar de Costo Versus Lujo/superficie.

E – Estructurales, denominados así porque en ellos recae también la responsabilidad de resistir de manera segura y estable, las solicitaciones de la edificación como son cargas de servicio así como cargas sísmicas y eólicas, consolidando junto con la parte Arquitectónica, una construcción funcional

y sólida.

S – Sostenibles,

Aunque la palabra encierra todo tipo de conceptos mediático-ambientalistas, para nuestro propósito, el concepto contiene el hecho de utilizar materiales reciclados que ya han tenido un proceso industrializado y por lo tanto no requieren de transformación de materias primas.

Así mismo, por ser de mínima manipulación, el costo de producción y montaje es mínimo y como la fuente de materiales es los desechos post industriales, el costo del material también debería ser



bajo; esto también enmarca dentro de la palabra “Sostenibles”, la posibilidad de llamar a las construcciones hechas con estos materiales como por ejemplo Vivienda de Interés Social y/o Vivienda Campesina Productiva.

¿Es posible construir una vivienda cómoda, bonita, segura y sobretodo muy económica? La respuesta a esta pregunta seguramente ha estado durante mucho tiempo en manos de otros profesionales que han investigado y han desarrollado soluciones de vivienda a muy bajos

costos. Uno de los propósitos de esta investigación es dar el primer paso hacia la búsqueda de otra respuesta más a este interrogante, en la cual la conclusión seguramente será un rotundo sí!

Sin ir tan lejos en la tarea de documentar acerca la problemática social, podemos hacer un recorrido al interior y en los alrededores de la ciudad de Bogotá, donde nos encontramos con una gran variedad de configuraciones de vivienda sub normal en la que hasta “los restos” de un viejo bus destartado sirven de albergue habitacional o local comercial. En muchos casos, las unidades habitacionales están construidas o mejor “armadas” mediante un esqueleto de trozos de madera de todas las formas, secciones y tamaños y como recubrimiento, tejas de zinc de muy mal aspecto estético y estructural. Las hay también conjugando varios tipos de materiales, los cuales serán descritos más adelante.

Conforme al significado de los “**A E S**”, este documento aborda únicamente la caracterización de los materiales metálicos y de madera encontrados en una empresa de reciclaje en la ciudad de Bogotá, con el fin de darle la categoría de **E – Estructurales**, con las restricciones de uso y factores de seguridad que deban tenerse en cuenta a fin de emplearse como componentes estructurales de la edificación hecha con “**A E S**”; en una posterior etapa o segundo ciclo de esta investigación, seguramente se abordará el aspecto de darle a estos materiales su categoría de **A – Arquitectónicos** y debido a su origen en el reciclaje, estos materiales tendrán su característica **S – Sostenibles**, fundamentado en el hechos de ser aprovechables desde las dos características arquitectónicas y estructurales.

Una vez descritas las motivaciones que dieron origen a los materiales Arquitectónicos, estructurales y sostenibles, procedemos a desarrollar el documento con las etapas ejecutadas en esta investigación.

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Una gran cantidad de proyectos arquitectónicos sobre vivienda sostenible y enfocada a personas de bajos recursos, se han planteado a través de muchos años; sin embargo, estos proyectos de casas han resultado ser en gran parte, solo iniciativas tendientes a solucionar uno de los dos planteamientos: o son económicos, o son sostenibles.

Los resultados no hablan por sí mismos, se conocen proyectos como las placas ECOPLAK, hechas a partir de los envases de tetrapak, de los cuales, sus componentes son 100% reciclables, pero su proceso industrial, resulta en materiales muy costosos y de poca aplicabilidad “en el campo estructural”.

Cuando caminamos por los barrios periféricos de las ciudades, nos encontramos con una gran variedad de “construcciones habitacionales” hechas a partir de residuos industriales como cartón, láminas de metal, guacales de madera, estibas, plásticos y en general, cualquier material tipo lámina o panel, que pueda constituir de manera artesanal, un habitáculo de cuatro paredes y un techo en el cual encuentran refugio, cuatro, cinco y más personas de una misma familia.

Estas construcciones, estéticamente son atroces si cabe el término y aunque en ocasiones, parezcan y resulten ser muy “sólidas”, están siempre a merced de los desastres naturales y su comportamiento estructural es casi o definitivamente imposible de determinar.

De la recopilación de información respecto a las construcciones con materiales no convencionales, se destacan varios proyectos de arquitectos famosos alrededor del mundo, en especial europeos, los cuales tienen gran fascinación acerca de los edificios verdes; sin embargo, sus iniciativas no van más allá de conseguir galardones y premios en concursos de arquitectura. Sus proyectos aunque muy ecológicos, no cumplen con la función social de ser edificaciones direccionadas a las clases menos favorecidas.

Frente a los materiales y la construcción económica y amigable con el medio ambiente, la tendencia global es siempre conseguir un nuevo material de reciclaje, que sea novedoso y llamativo para las organizaciones verdes; esto a su vez va a representar un buen nicho de



mercado y la posibilidad de obtener una certificación de GREEN BUILD, para esto, se realiza un diseño arquitectónico simple, basado en la estética y en la economía de recursos, se da a conocer como un proyecto ecológico, sostenible y económico por la simple inclusión de alguna técnica nueva de construcción o fabricación, o por algún sistema de reciclaje de agua o energía eléctrica que signifique el obtener este reconocimiento. Adicional a esto, la cantidad y la

calidad de la investigación acerca de la capacidad estructural de estos materiales no es en efecto, la suficiente para consolidar esta estrategia de construcción como edificios seguros y útiles para su construcción en serie. Para poner solo un ejemplo, la imagen muestra los muros de una escuela en las afueras de una ciudad en china, en la cual las paredes están hechas con envases PET rellenos de adobe; aunque se ve muy solida y la estructura que la confina es convencional, no sabemos como sea el comportamiento y la durabilidad de este muro en el tiempo.

Paralelo a esto, al recorrer las zonas rurales nos encontramos con una gran variedad de construcciones hechas por los propios habitantes, algunas veces con materiales que aunque no son convencionales, podrían ser considerados por sus características mecánicas, como aceptables para construcciones sismo resistentes y/o de gran seguridad estructural; sin embargo, el desconocimiento de conceptos que para los ingenieros pueden llegar a ser muy básicos, hacen que estos materiales no se empleen de forma correcta o no se optimice su utilidad tanto arquitectónica como estructural y por ende estas construcciones solamente cumplan la función de generar un techo donde alojar personas y se desaproveche en parte su gran potencial.

Este es el caso de construcciones que nos encontramos en la zona rural de Soacha, en donde se emplearon paneles metálicos para configurar una construcción habitacional de un piso. En esta construcción, el dueño seguramente empleó sus conocimientos y su propio criterio para generar conexiones entre paneles instalados en uno y otro sentido y tubería metálica para configurar cerchas, correas y viga-cinta.



Finalmente, esta construcción se convierte en un híbrido, ya que el propietario termina mezclando los materiales no convencionales con los materiales tradicionales

Hay que resaltar que todos los materiales son reciclados de desechos industriales; el concepto de esta construcción es perfecto para una solución de vivienda rural muy económica, sin embargo resulta necesario estudiar una configuración óptima para el uso de los materiales y realizar una capacitación al constructor para que aproveche mejor el potencial estructural y estético de sus materiales. Con base en esto, se han planteado los problemas a resolver en el desarrollo total de la investigación:

- Buscar un material de reciclaje que sea parte de una solución arquitectónica inicialmente

para vivienda rural y/ó de aprovechamiento económico y que para etapas posteriores, pueda usarse en otros tipos de edificaciones.



- La construcción que se realice con este material, debe cumplir con las características de los materiales Arquitectónicos Estructurales y Sostenibles; además de esto, el origen del total del material de construcción será el reciclaje, debe ser de fácil acceso y económico.

- La capacidad estructural de la edificación que se realice con estos materiales le debe ofrecer a los habitantes un nivel óptimo de seguridad ante eventos sísmicos, cargas de viento y cargas de servicio; para esto, se deberán estudiar las propiedades mecánicas de los materiales y los tipos de conexiones a emplear y diseñar la estructura portante.

OBJETIVO GENERAL Y OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo general:

Estudiar las propiedades mecánicas de materiales de reciclaje que pueden ser parte de una solución estructural para una vivienda rural de un piso.

Objetivos específicos:

Una vez escogidos los materiales de construcción:

- Caracterizar y calificar mecánicamente los materiales de reciclaje a los cuales les aplican las normas para ensayos de laboratorio con el fin de cuantificar sus propiedades mecánicas.
- Desarrollar un protocolo de ensayo para los materiales de reciclaje a los cuales no les pueda aplicar las normas técnicas con el fin de cuantificar sus propiedades mecánicas.

ALCANCE DEL TRABAJO FINAL DE MAESTRIA

Alcance

Se ha concentrado el presente estudio, en materiales identificados a partir de la exploración realizada en construcciones subnormales en la periferia de la ciudad de Bogotá cuyo origen pudo ser plenamente identificado.

El alcance dado al trabajo final de maestría con estos materiales, es caracterizar sus propiedades mecánicas que sean de interés en el campo de la ingeniería estructural y con esto determinar su uso dentro de una estructura portante.

Para esto, se realizaron ensayos estandarizados y normalizados sobre especímenes prismáticos de madera y tuberías metálicas los cuales se describen con detalle en el desarrollo del documento.

CAPITULO 1

CARACTERISTICAS DE UNA CONSTRUCCION SUBNORMAL

1. EXPLORACION DE VIVIENDA SUB NORMAL

Para hablar de vivienda subnormal, primero deberíamos listar las características mínimas de una vivienda que podemos catalogar como “normal”; estas características que se listan a continuación, han sido definidas por el autor.

1.1. Características de una vivienda normal:

- Posesión legal del lote.
- Construcción hecha a partir de materiales convencionales y tradicionales como mampostería en bareque, ladrillo y bloques de arcilla, concretos y acero de refuerzo, tejas metálicas, de asbesto-cemento o barro.
- La cubierta y el cerramiento son estables, lo que imprime sensación de solidez y bienestar a los habitantes y aporta la cuota de seguridad al interior de la vivienda.
- La edificación cuenta con ambientes definidos sin importar el tamaño de estos como son entrada, área social, cocina, comedor, baño, habitaciones privadas, patios.
- Con respecto a los acabados, la vivienda normal puede estar en obra gris incluyendo afinado de piso, pañete de paredes, dotación mínima de baños y cocina que incluya los aparatos sanitarios como lavamanos, sanitario y ducha y dotación de cocina con lavaplatos y estufa.
- Servicios públicos básicos como agua potable, alcantarillado, energía eléctrica entre otros.

- Vías de acceso como calles, avenidas o senderos peatonales definidos como tales.

La identificación uno a uno de estas características dentro de una vivienda, configuran la inversión económica que se debe acometer a la hora de adquirir la vivienda normal mínima ya sea nueva o usada.

El costo de la estructura portante, el cerramiento y la cubierta de la vivienda podría ser del orden del 60% al 70% del costo total de la vivienda, con lo cual podemos deducir fácilmente, que si la vivienda en su configuración estructural y su seguridad no posee las variables mínimas, al interior va a presentar falencias de espacios, de confort, de saneamiento etc., por lo tanto, una a una, las características de esta construcción normal van perdiendo el valor que representan dentro de la “unidad normal”.

Es así como definimos entonces la vivienda subnormal, en la cual no se cumplen las especificaciones mínimas de una unidad habitacional normal y por lo tanto no se puede considerar dentro de esta, una buena calidad de vida ni un buen desempeño estructural.

La parte que nos ocupa en esta investigación, es abordar la identificación y caracterización de materiales no convencionales que pueden hacer parte de una solución de vivienda “normalizada” fijándonos como meta, que estos materiales cumplan con las condiciones de los materiales definidos como “**A E S**”; para esto, la directriz más importante que se fijó, fue determinada por la fuente de materiales que obligatoriamente deberían ser reciclados y de mínimo procesamiento con el fin de abarcar fácilmente la condición de sostenibilidad de la edificación al menos en lo que a estructura se refiere; la parte estructural es la estudiada en esta primer fase y la parte arquitectónica, se llegó a un planteamiento inicial pero su desarrollo hace parte de una segunda etapa que está fuera del alcance de la presente investigación.

1.2.Exploración de construcciones sub-normales

A lo largo y ancho del territorio Colombiano es posible encontrar las construcciones sub normales de que trata este estudio, sin embargo, nos tomaría demasiado tiempo recorrer el país en busca de la documentación gráfica que deseamos analizar y que no representa el objetivo final que nos ocupa, por esto limitamos la exploración física de construcciones sub normales a la ciudad de Bogotá D. C. y sus alrededores más próximos.

El objetivo de esta exploración física fue determinar los materiales no convencionales de construcción más usuales y clasificarlos bajo aspectos de aprovechamiento estructural, estético, y repetitividad. Esta exploración se apoyó también en estudios anteriores de los arquitectos Diana Lamprea y Fernando Bolívar, de los cuales extractamos parte del material gráfico y el análisis de la configuración arquitectónica realizada en su estudio **Vivienda campesina productiva – Los Soches Usme – Secretaria Distrital De Desarrollo Económico, Subdirección De Desarrollo Socioeconómico Rural, 2007**; en los cuadros siguientes, se realiza una breve descripción de algunas construcciones encontradas en la ciudad de Bogotá:

Fotografía 1



Ubicación: Localidad de Chapinero vereda Verjón Bajo
Uso: Vivienda - Producción de germinados vegetales
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

La propietaria realizó la construcción de esta área aledaña a su cocina con el fin de almacenar "la post-cosecha" de su producto; los materiales empleados fueron repisas de madera de especie desconocida para la estructura y tejas de cinc

Fotografía 2



Ubicación: Localidad de Chapinero vereda Verjón Bajo
Uso: Producción de Orellanas
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

Este vivero está hecho con perfiles de madera de gran sección como columnas y varas rollizas como estructura del techo, la teja es de cinc y es el único elemento reciclado en esta construcción. La puerta también es reutilizada obviamente.

Fotografía 3



Ubicación: Localidad de Santafé vereda Verjón Alto
Uso: Depósito y habitación
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

EL depósito se construyó con madera de muchos perfiles y especies, extraída de guacales y estibas, la cubierta es teja metálica reutilizada; cuenta con energía eléctrica y gas mediante cilindro.

Fotografía 4



Ubicación: Humedal La Conejera - Localidad de Suba
Uso: Educación ambiental
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

El Eco Bus es parte de la iniciativa de La Fundación Humedal La Conejera; es un bus viejo pintado exteriormente y decorado; fue necesario acondicionar una carpa sobre el con madera rolliza y plástico con el fin de frenar su deterioro.

Fotografía 5



Ubicación: Localidad de Bosa vereda San Bernardino
Uso: Maloka - Vivienda - venta de productos agrícolas
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

Esta construcción tipo Maloka, pertenece al Cabildo Indígena Muisca de la localidad; está hecha con esterilla de guadua, madera rolliza y techo en lámina de cinc recubierto con paja. Cuenta con energía eléctrica y Gas natural.

Fotografía 6



Ubicación: Localidad de Santafé vereda Verjón Alto
Uso: Vivienda - Parador de comida en carretera
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

El 100% de esta construcción es de material reciclado, especialmente madera y teja de cinc, como se puede ver, el estado estético es muy deficiente, estructuralmente seguramente funciona ya que lleva muchos años en pie.

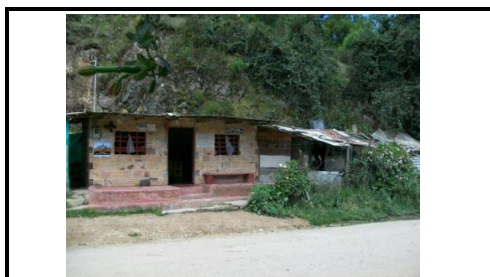
Fotografía 7



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar vereda Santa Rosa
Uso: Vivienda
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

Los materiales empleados aquí son madera, plástico, cartón, cinc, poliuretano, etc, esta construcción la utilizaron como marraneras y actualmente es galpón de pollos, el estado actual es muy deficiente desde el punto de vista estético y funcional.

Fotografía 8



Ubicación: Localidad de Usme vereda Las Margaritas
Uso: Tienda - Vivienda
Fuente: Arq. Diana Maria Lamprea

La tienda está construida con bloque de arcilla convencional, sin embargo, la vivienda aledaña, está hecha con techo y paredes en teja de cinc y medera a modo de cerramiento; ambas construcciones cuentan con energía eléctrica y gas por medio de cilindro.

Fotografía 9



Ubicación: Localidad de Tunjuelito Barrio Venecia
Uso: Montallantas - Cambiadero de aceite
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Esta construcción está compuesta de láminas metálicas y de madera de muchos estilos; la estructura básica es con tubería metálica de perfil circular y está adosada al cerramiento del parqueadero donde se encuentra ubicada.

Fotografía 10



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar Barrio El Perdomo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

El cerramiento así como la construcción de la izquierda que se usa como baño, son de cinc y madera, la casa que se ve al interior, originalmente era de cinc al igual que el baño; el propietario del lote habita esta construcción mientras que va realizando la casa en mejores condiciones.

Fotografía 11



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar Barrio El Perdomo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Este loque queda en una ladera terminando en la pared de la casa vecina; el animal cuida las dos habitaciones que estan como en un sotano configurado por la estabilización de la ladera y un techo de teja de cinc, mientras que en la superficie se va construyendo la vivienda en materiales convencionales.

Fotografía 12



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar Barrio El Perdomo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Al igual que la imagen anterior, esta es la configuración característica de estas construcciones, los muros son las paredes de las casas vecinas ya construidas o adelantadas y el techo es teja de cinc soportada por durmientes de madera y planchones, todos reciclados.

Fotografía 13



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar Barrio El Perdomo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

En esta ocasión, los ladrillos que van a ser parte de la casa definitiva, sirven de pared temporal cerrando uno de los linderos, los demás están hechos con paredes de cinc y lona verde.

Fotografía 14



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar Barrio El Perdomo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Esta es una vivienda de gran tamaño donde habitan aproximadamente 6 familias; está configurada en su totalidad por láminas de madera y cinc en techo y paredes; la estructura son pedazos de palos de madera y tubería metálica amarrados con cabulla y alambre; tienen energía eléctrica.

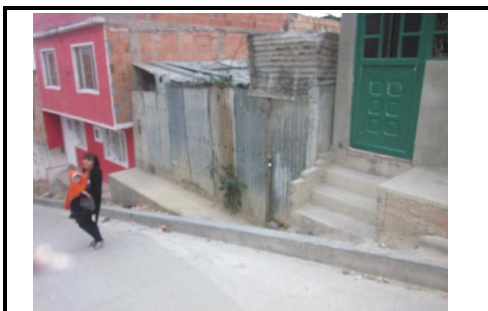
Fotografía 15



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar Barrio El Perdomo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

La construcción pertenece a una serie de seis casas hechas con láminas de fibrocemento como paredes, puertas metálicas y de madera y cubierta en teja de cinc; la estructura es en tubería metálica de variadas secciones con conexiones soldadas; comparada con las imágenes de este sector, sería la de mejor configuración.

Fotografía 16



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolivar Barrio El Perdomo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Este es el ejemplo más dicente de las casas de este sector; las personas habitan un "Rancho" elaborado con los materiales que tienen a la mano mientras construyen poco a poco su vivienda con materiales tradicionales, que en muchos casos son también residuos de construcciones en las cuales trabajan; En esta imagen vemos la vivienda a base de lámina de cinc en su

Fotografía 17



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolívar Barrio El Amparo
Uso: Vivienda - vigilancia del lote
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Este habitáculo está hecho con basura de todo tipo, según los vecinos del sector, es simplemente un acumuladero de basuras con el fin de evitar la invasión del lote pero por las noches se convierte en alojamiento para habitantes de la calle y consumo de sustancias prohibidas.

Fotografía 18



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolívar Barrio El Amparo
Uso: Parqueadero adosado a la vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Este parqueadero está hecho totalmente de material reciclado, con puertas de lámina de madera y paredes y techo de cinc; para evitar la inseguridad tiene cadena y candado.

Fotografía 19



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolívar Barrio El Amparo
Uso: Desconocido
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

En el espacio de menos de 2.00 metros entre dos construcciones, se configuró un cerramiento de ladrillo y puerta con lámina metálica cubierto por teja de cinc claramente de reciclaje, desconocemos el uso de esta construcción que puede ser un depósito o incluso vivienda.

Fotografía 20



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolívar Barrio El Amparo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Esta construcción de dos pisos, está hecha con láminas metálicas y teja de cinc; al menos sus paredes, desconocemos que tipo de estructura y materiales soportan el segundo piso de esta construcción.

Fotografía 21



Ubicación: Localidad de Ciudad Bolívar Barrio El Amparo
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

En esta imagen, vemos un material parecido a las láminas reforzadas, sin embargo estas son plásticas y de latón pero no son reforzadas y de menor calibre, la estructura interna es madera.

Fotografía 22



Ubicación: Vía Bogotá - Anapoima
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Esta casa está hecha con ladrillos, guadua, tejas de cinc y láminas de madera; la fachada está hecha con ventanas de marcos de madera y antepecho de ladrillo.

Fotografía 23



Ubicación: Vía Bogotá - Anapoima
Uso: Vivienda - Parador de comida en carretera
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Los materiales de construcción son variados; la estructura de cubierta son cerchas de madera recicladas y acondicionadas para el uso; los muros laterales son de bloque de arcilla y la fachada es cerramiento en lámina de cinc.

Fotografía 24



Ubicación: Vía Bogotá - Anapoima
Uso: Vivienda
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

En las paredes de esta construcción, se emplearon troncos de árboles cortados sin ninguna preparación e hincados en la tierra; internamente están forrados con lona verde de construcción y láminas de madera y cinc; la cubierta es en teja de cinc, todo los materiales son reciclados.

Antes de continuar con la descripción, se aclara que la razón de realizar el registro fotográfico de estas construcciones no es desmeritar, ni criticar a los propietarios que con esfuerzo se han encargado de realizarlas con los recursos que tienen a la mano.

1.3.Descripción de materiales identificados

Como se puede evidenciar en las fotografías, los materiales de reciclaje más representativos en estas construcciones son la madera en perfil, tabla y lámina y la lámina metálica ya sea de latón o de cinc. Así mismo, se enfatiza que ambos materiales son el resultado del reciclaje, por su estado estético y por la forma en que se disponen. Si los materiales fueran nuevos, seguramente serían de secciones constantes y conformando siluetas bien definidas dentro de la construcción.

1.3.1. Perfiles de madera

En la **Fotografía 22**, vemos que la estructura de la vivienda se realizó con perfiles de madera y guadua instalados de manera organizada conformando los marcos de las ventanas y puertas, no sabemos cómo están amarrados pero podemos inferir que hay pórticos que seguramente son estructura portante.

Igual sucede en la **Fotografía 2**, en la cual se muestra que el vivero se construyó con perfiles de madera robustos hincados en el suelo como columnas, perfiles circulares de madera (rollizos), que conforman la estructura principal de la cubierta y perfiles rectangulares de menor sección como correas de cubierta; las conexiones de la madera rolliza a las columnas las realizaron mediante tornillos y amarres con alambre y las correas están apuntilladas.

El aspecto estético del vivero forrado en lona verde no será el mejor pero la estructura está muy bien concebida, luce bastante sólida a la mirada desprevenida de cualquier visitante y seguramente el costo de construcción fue muy bajo.

1.3.2. Láminas de madera con perfiles de madera

En la **Fotografía 3** y **Fotografía 5**, vemos el uso de láminas o paneles de madera en conjunto con perfiles metálicos; esta configuración es bastante llamativa puesto que los perfiles resisten las cargas verticales y las láminas o paneles resisten las fuerzas horizontales siempre que estén perfectamente conectadas con la estructura de pórticos generada por los perfiles y adicionalmente, las láminas o paneles suministran el cerramiento de la construcción.

En el caso de la maloca, **Fotografía 5**, por dentro hay perfiles de madera inclinados que proporcionan el soporte a cargas laterales y por lo tanto, la esterilla solo cumple la función de cerramiento y ventilación natural; mientras que en el caso de las **Fotografías 3, 6 y 7**, las láminas o paneles o estibas, pueden estar cumpliendo las dos funciones.

1.3.3. Láminas metálicas reforzadas

Una de las tipologías que más llamó la atención fue la construcción de casas, cerramientos y campamentos mediante la disposición espacial de láminas metálicas de contenedor; estas láminas provienen de los contenedores de la industria automotriz en los cuales vienen empacados las partes de los vehículos que son ensamblados en el país.

Fotografía 25



Ubicación: Municipio de Sibate vía Sibate - San -Miguel
Uso: Vivienda - Montallantas
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Esta construcción se realizó con láminas metálicas reforzadas como muros y estructura portante y perfiles metálicos para estructura de cubierta; La cubierta es en teja de cinc.

Fotografía 26



Ubicación: Municipio de Sibate vía Sibate - San -Miguel
Uso: Vivienda - Montallantas
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Vista interior de la vivienda

Se encontraron varias ventajas estructurales de las láminas entre las cuales resalta el reforzamiento en perfil metálico tipo omega de dimensiones (8 cm X 4 cm X Cal. 16) y el mismo espesor de la lámina que es calibre 22 que pueden inferir cierta capacidad estructural, sin embargo, para los constructores que son los mismos propietarios, no fue tan claro la manera más eficiente de usar las láminas, debido a que el refuerzo está orientado transversalmente.

Fotografía 27



Ubicación: Municipio de Sibate vía Sibate - San -Miguel
Uso: Vivienda - Montallantas
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Detalle de conexión

Fotografía 28



Ubicación: Municipio de Sibate vía Sibate - San -Miguel
Uso: Vivienda - Montallantas
Fuente: Ing. Victor Hugo Enriquez Mosquera

Detalle estético de la vivienda

Las dimensiones aproximadas de las láminas son de 1.20 m X 2.40 m, por lo tanto una sola lámina colocada verticalmente logra la altura libre adecuada para un piso pero el refuerzo al quedar orientado horizontalmente, solo configura la estructura de fachada. Se podría pensar que estas láminas instaladas horizontalmente y diseñando un sistema de conexión que le proporcione continuidad a los reforzamientos, podrían incluso configurar una estructura para dos pisos.

Arquitectónicamente las láminas no ofrecen mayores ventajas que las apreciadas en las fotografías, su manipulación una vez son desechadas y en el mismo transporte de las autopartes, afectan sus posibilidades estéticas; el uso de estas láminas es bastante común en cerramientos provisionales y campamentos de obra.

Al investigar sobre la fuente de materiales de estas láminas, no se encuentra un panorama satisfactorio a largo plazo; las ensambladoras de automóviles en el país no tienen el suministro continuo de partes ya que los vehículos son discontinuados, modificados o ensamblados en diferentes temporadas, por lo tanto, los embalajes de auto-partes varían dependiendo de la línea del automóvil o su desarrollo en el tiempo. Sin embargo, queda la iniciativa abierta para el estudio de este material alternativo.

1.3.4. Otros materiales encontrados

Finalmente, las demás fotografías muestran condiciones estructurales y estéticas precarias con el uso de materiales como láminas de madera, cartón, tejas etc., que no aportan resistencia a la estructura ni un buen aspecto a la vivienda y por supuesto estas construcciones carecen de las características de una vivienda o lugar de trabajo digno o seguro que no se puede clasificar como “vivienda normal”.

1.4.Fuente de materiales

Durante la búsqueda de las láminas reforzadas, se encontraron empresas recicladoras que se dedican a recoger y clasificar los restos de estas industrias ensambladoras de autopartes, entre estos desechos industriales, fuera de las láminas reforzadas, encontramos láminas metálicas de otras propiedades inferiores, láminas de madera tipo triplex y tipo aglomerado, perfiles de madera

de diferentes medidas, estibas de madera con tablas de diversas Medidas y perfiles tubulares de diferentes dimensiones y calibres.

Como se mencionó en el inciso de **Láminas metálicas reforzadas**, los contenedores hechos con láminas reforzadas, no son muy continuos en el tiempo, mientras que los contenedores hechos con láminas de madera y estructura interna en perfiles metálicos y de madera, son más comunes y tienen mayor continuidad, es por esto, que las láminas metálicas reforzadas se excluyeron de este estudio.

Otra de las razones para excluir las láminas metálicas reforzadas y de gran importancia, es que estas láminas son muy bien conocidas por las personas que están dentro del círculo del reciclaje y su adquisición es prácticamente monopolizada por estas personas, por lo tanto una vez se conoce de un lote de láminas reforzadas, estas en el argot popular “ya están vendidas”. Esto a su vez es una limitante no solo por stock sino por precio que por ser especulado se vuelven anti económicas, adicionalmente, las empresas ensambladoras como SOFASA, MAZDA CCA y COLMOTORES, no le venden estos residuos a personas naturales porque tienen los convenios realizados con las empresas recicladoras que son las únicas que se encargan de realizar el retiro y la comercialización de estos.

Esta información acerca de la monopolización de las láminas reforzadas nos fue suministrada por personal de dos ensambladoras de vehículos, Sofasa – Zipaquirá, Mazda – Medellín y por la misma empresa recicladora que tomamos como fuente de materiales.

La siguiente tabla muestra las tipologías de perfiles metálicos y de madera más comunes encontrados con el proveedor analizado, de esta tabla se resaltaron los perfiles que empleamos para esta investigación:

Material disponible	Dimensiones
Lámina metálica	2.40 m X 1.20 m reforzada 1.20 m X 1.20 m corrugada 2.40 m X 1.20 m corrugada 2.40 m X 2.50 m corrugada
Lámina de madera	Triplex de 1.5 a 2.0 cm de espesor 2.40 m X 1.20 m Aglomerado de 1.5 a 1.9 cm de espesor 2.40 m X 1.20 m Estibas de tabla de madera de diferentes espesores y medidas
Perfil metálico	Cuadrado 50 mm calibre 16 Longitud entre 2.00 y 2.20 m Cuadrado 38 mm calibre 16 Longitud entre 0.90 y 2.20 m Cuadrado 32 mm calibre 16 Longitud entre 1.60 y 2.20 m Cuadrado 25 mm calibre 16 Longitud entre 1.40 y 3.20 m Rectangular 80 X 40 mm calibre 16 Longitud entre 2.00 y 2.20 m Rectangular 60 X 30 mm calibre 16 Longitud entre 1.40 y 2.20 m Rectangular 50 X 30 mm calibre 16 Longitud entre 1.25 y 2.50 m Rectangular 40 X 20 mm calibre 16 Longitud entre 1.40 y 3.20 m
Perfil de madera	Cuadrado tamaño nominal 5.0 cm Longitud entre 1.50 m y 3.50 m Cuadrado tamaño nominal 8.0 cm Longitud entre 1.50 m y 3.50 m Cuadrado tamaño nominal 12.0 cm Longitud entre 1.50 m y 3.50 m Cuadrado tamaño nominal 20.0 cm Longitud entre 1.50 m y 3.50 m Rectangular tamaño nominal 7.0 X 5.0 cm Longitud entre 1.50 m y 3.50 m Rectangular tamaño nominal 8.0 X 5.0 cm Longitud entre 1.50 m y 3.50 m Tabla tamaño nominal 20 cm espesor 1.5 cm Longitud entre 1.20 m y 1.80 m Tabla tamaño nominal 25 cm espesor 1.5 cm Longitud entre 1.20 m y 1.80 m Tabla tamaño nominal 30 cm espesor 1.5 cm Longitud entre 1.20 m y 1.80 m

Tabla No 1: Disponibilidad de materiales en la fuente

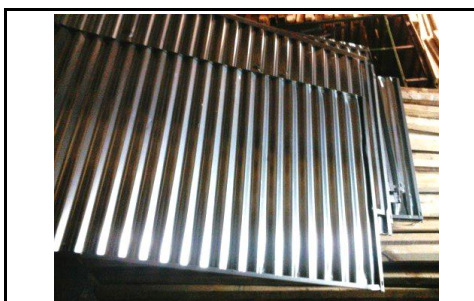
1.4.1. Uso y aplicabilidad

De la tabla podemos inferir fácilmente el uso que puede darse a los materiales identificados; por ejemplo las láminas metálicas pueden servir como el cerramiento de depósitos o construcciones comerciales mientras que las tablas y láminas de madera pueden usarse como el cerramiento o fachada de viviendas rurales e incluso como el enchape de piso definitivo mediante la generación de una superficie lisa mediante lijado mecánico y la aplicación de laca como acabado y protección.

Los perfiles metálicos y de madera, mediante el estudio de sus características, defectos y propiedades mecánicas, se pueden emplear de manera segura como la estructura portante de la vivienda o construcción comercial, empleándolos de manera aislada o combinados con otros materiales convencionales; sin embargo, la idea es emplearlos de manera que se conviertan en construcciones del tipo AES, con lo cual se hace necesario mezclarlos con otros materiales de reciclaje.

A continuación se presentan algunas imágenes de estos materiales en su fuente:

Fotografía 29

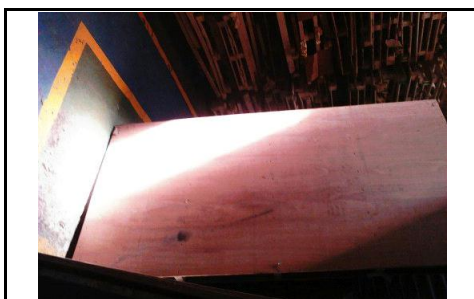


Descripción:

Lámina metálica corrugada calibre 18 con borde en el mismo material, sin refuerzo adicional, material galvanizado de acabado brillante.

Posibles usos: Cerramiento en construcciones de tipo comercial o de almacenamiento.

Fotografía 30



Descripción:

Lámina en madera tipo triplex, se consigue en parejas ya que son la base de los contenedores, vienen unidas por refuerzos en madera de perfil cuadrado de 8 cm

Posibles usos: Tendido de piso en los entrepisos de vivienda de dos pisos, tendido de cubierta, cerramientos.

Fotografía 31



Descripción:

Lámina en madera tipo aglomerado, esta lámina se consigue algo deteriorada en especial en los bordes, por su textura, puede ser empleada en la fabricación de puertas, enchape interno de las paredes de las construcciones de vivienda y superficies de muebles.

Posibles usos: Fabricación de mobiliario y enchape interno de paredes.

Fotografía 32



Descripción:

Tabla de madera extraída de las estibas.

Posibles usos: Acabado de piso y acabado interno o externo de las paredes de las construcciones de vivienda.

Fotografía 33



Descripción:

Perfiles de madera de diferentes secciones y longitudes

Posibles usos: Estructura portante de la construccion.

Fotografía 34

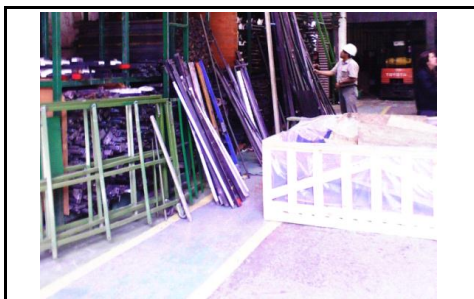


Descripción:

Perfiles metálicos de diferentes secciones y longitudes

Posibles usos: Estructura portante de la construccion y sistema principal de resistencia de cargas laterales.

Fotografía 35



Descripción:

Otros perfiles y láminas metálicas, plasticos y de madera.

Posibles usos: Un gran universo de usos se pueden configurar ya que la diversidad de elementos que se extraen de los contenedores de autopartes es bastante amplia

CAPITULO 2,

ESTUDIO DE LOS PERFILES DE MADERA ENCONTRADOS

ESCOGENCIA E IDENTIFICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES:

Según comentarios de los operarios de la empresa de reciclaje que se determinó como fuente de materiales, el origen de las autopartes es Japón y Norteamérica pero la madera de los embalajes viene de Canadá.

En la fuente se encuentran diversas especies de madera que los operarios almacenan clasificándolas por su apariencia y por su peso; estas personas ya tienen bastante experiencia en clasificar los perfiles de manera empírica, por lo cual es posible hacer una diferenciación de los mismos una vez estudiadas sus propiedades mecánicas.

Como se verá en las imágenes siguientes, se agruparon las maderas que se tomaron para estudio en tres grupos inicialmente por su peso al tanteo y su apariencia, mas tarde, se confirmaron estos grupos mediante los resultados de los ensayos realizados a las diferentes piezas.

Las imágenes que se presentan a continuación corresponden también a las probetas que se realizaron para los ensayos de corte paralelo a la fibra, tensión transversal a la fibra, tensión paralela a la fibra y compresión paralelo a la fibra.

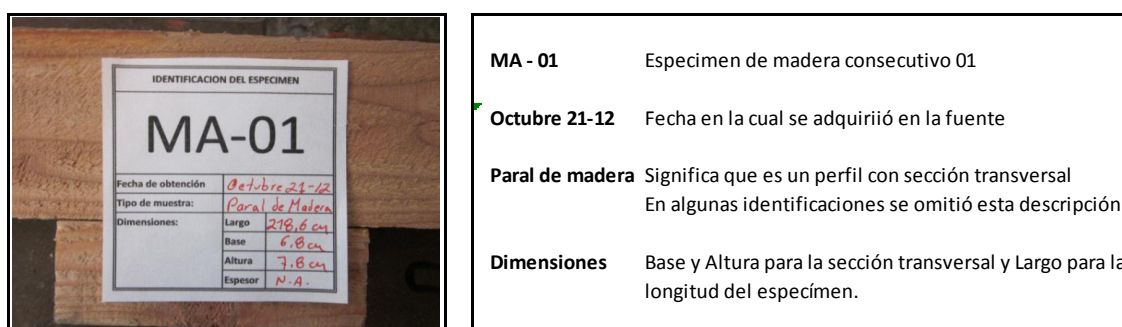
2.1.Escogencia de los especímenes

El proceso de muestreo consistió en la escogencia al azar y en diferentes épocas, de palos de madera directamente del almacenamiento en la fuente, sin reparar en secciones ni longitudes de los mismos; era claro entonces, que los ensayos se realizarían únicamente sobre los perfiles y no sobre tablas ni láminas ya que estos materiales fueron definidos inicialmente como materiales para acabados de la construcción.

Tanto las tablas como las láminas metálicas y de madera pueden ser también empleadas como elementos estructurales, en especial para configurar paneles que proporcionen resistencia o arriostramiento horizontal a los perfiles, sin embargo estos elementos no son analizados en esta investigación pero no se excluyen de poder ser usados incluso en combinación con los materiales estudiados.

Una vez escogidos los perfiles para estudio, estos fueron llevados a un almacenamiento temporal en donde se les colocó una etiqueta con la identificación secuencial de cada uno, la fecha de su adquisición, la sección transversal y la longitud de cada palo; a partir de su identificación, el palo recibe entonces el nombre de espécimen, del cual se extrajeron posteriormente las probetas para cada ensayo. (Fotografía 36).

Fotografía 36



Una vez identificados, los especímenes se llevaron a la carpintería de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, con el fin de ser maquinadas las probetas para los ensayos mencionados anteriormente.

2.2. Identificación de los especímenes

Clasificación por grupos

Según sus características visuales y su densidad, se separaron los especímenes en tres grupos así:

Grupo 1: Color amarillo muy claro y café muy claro con tendencia a blanco, los anillos de crecimiento son muy gruesos y muy radiales así como la transición de estos con alto contenido de lignina la cual es fácilmente identificable.

Por el tamaño de las cuerdas de los anillos, se puede inferir que estos especímenes provienen de la zona central del duramen conocida como médula, su densidad es la más baja respecto a los otros dos grupos; también se presentan especímenes con nudos de ramificaciones y con anillos de crecimiento un poco más grandes lo cual indica que posiblemente fueron extraídas de un árbol muy joven.

El olor de estos especímenes cuando son cortados o aserrados es dulce suave.

Fotografía 37



a) Gran distorsión de la fibra

b) Anillos de crecimiento

Grupo 2:

Color amarillo pálido y fuerte, sus anillos son bastante marcados pero no tan gruesos y de mayor cantidad que el grupo No 1, en algunos casos, se evidencia un cambio de color del fuerte a muy claro en el sentido de crecimiento, seguramente son cortes realizados en las cercanías de la Albura con inclusión de esta en el acerrado.

La densidad es un poco mayor que la del grupo 1 y se puede inferir que el árbol es un poco más maduro que el del grupo 1.

El olor de estos especímenes es un poco más dulce que el del grupo 1 sin llegar a ser hostigante. (Fotografía 38).

Fotografía 38



Grupo 3:

Color amarillo pálido muy fuerte con tendencia rojiza, los anillos de crecimiento son muy abundantes y de unos pocos milímetros de espesor y se nota la presencia de lignina en capas muy delgadas. (Fotografía 39).

La densidad de este grupo es la más alta de los tres, casi el doble del grupo 1 y un 25% mayor que la densidad promedio del grupo 2.

El olor del corte de este grupo, es una extraña mezcla entre amargo y muy dulce con tendencia ser irritante.

Fotografía 39



CAPITULO 3

CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA DISPONIBLE EN LA FUENTE

Ya que esta madera que se consigue en la fuente, por alguna razón fue empleada como material para la fabricación de cajas para embalaje y no para construcciones, la tarea de esta investigación es revisar la capacidad estructural del material disponible y mediante la aplicación de mayores factores de seguridad o la especificación de mayor cantidad de perfiles o mediante otro proceso de calificación, lograr emplear esta madera en nuestras construcciones rurales AES.

El hecho de ser un material ya procesado previamente para otros usos, implica ventajas a nivel de tiempo y a nivel económico ya que estas maderas tienen desde mucho tiempo atrás, procesos de secado y de protección biológica que fueron realizados para emplearlas como contenedores; una vez estas cajas se desechan, la empresa de reciclaje se encarga de transportarlas, desarmarlas y limpiarlas de puntillas, clavos, tornillos y demás elementos de sujeción; aquí cabe resaltar la importancia de capacitar a los operarios para que realicen una labor más detallada de limpieza, ya que a pesar de tener las herramientas adecuadas para realizar esta labor, en muchas ocasiones los elementos tanto de madera como de metal, sufren una afectación mayor a la que se puede pensar como usual, esto debido a la forma de pago de las tareas de limpieza, que es un tema que no nos atañe por ahora; las ventajas que se mencionan son básicamente que el usuario final de este material, adquiere los perfiles de madera secos casi a nivel de humedad de equilibrio como se verá más adelante, y con control de ataques biológicos que es requisito por la normatividad internacional acerca del control de plagas en las exportaciones ISPM 15 – GUIDELINES FOR REGULATING WOOD PACKAGING MATERIAL IN INTERNATIONAL TRADE.

Basado en el MANUAL DE DISEÑO PARA MADERAS DEL GRUPO ANDINO Diciembre de 1984, que en adelante se puede encontrar referenciado como PADT-REFORT, en el código de construcciones de California EUA y en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, se realizó la clasificación visual de la madera que se consigue en la fuente, con el fin de darle una característica estructural.

Dimensiones de la madera

La madera que se consigue en la fuente ya posee las dimensiones reales que se considerarían para diseño, debido a que ya está lista para instalarse excepto por algunas tareas de limpieza adicional como el retiro de clavos y cepillado para eliminar marcas de tratamiento o de embalaje y suciedad propia del almacenamiento.

Por lo tanto, las dimensiones reales de la pieza en estudio deberán ser convertidas a dimensiones nominales para diseño ya que por ejemplo las piezas se consiguen de 55, 56 y 58 mm de lado, entonces deberá estandarizarse esta medida a 55 mm con el fin de determinar sus propiedades mecánicas referidas a la sección.

3.1. Madera no estructural

En concepto del autor, cuando la madera que va a ser destinada a recubrimientos, enchapes y muebles tiene algunos defectos propios como son nudos, desviación de la fibra, deterioro biológico ya controlado, etc. adquiere mayor valor estético obviamente cuando estos defectos están enmarcados dentro de algún valor lógico de percepción y son tratados para que hagan parte de la arquitectura del mueble puerta o recubrimiento.

A continuación, se reproducen los cuatro requisitos generales del **Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino**, numeral 3.2.6.1.

- a) *Toda pieza de madera debe ser “sana” o libre de ataque visible de hongos o pudrición alguna. No debe provenir del centro corazón o médula del árbol y no debe presentar rajaduras severas ni aristas faltantes.*
- b) *La presencia de agujeros de insectos (de origen) está permitida siempre que los provenientes de ambrosia (menor de 3 mm de diámetro) sean escasos y bien esparcidos (no más de 10 unidades por metro lineal) y los provenientes de insectos mayores no sean más de 2 unidades por metro lineal.*
- c) *No se permiten nudos sueltos o libres, deberán ser sanos y firmes no mayores que el 25 por ciento del ancho de la pieza. Nunca mayores de 25 mm de diámetro.*
- d) *Los defectos de secado tales como grietas y arqueaduras deberán ser leves de tal suerte que puedan corregirse en la instalación con el acabado final de la pieza.*

Los requisitos anteriores han sido reducidos y adaptados como propuesta en este trabajo con el fin de aplicarlos a los materiales reciclados disponibles en la Fuente, de la siguiente manera:

- a) Ataque biológico: a este respecto, se incluye el comentario del Manual y se complementa con el hecho que la madera tiene ya un tratamiento de inmunización desde

su origen, en cuanto a rajaduras y aristas faltantes, la madera debe ser maquinada nuevamente para subsanar estas posibles defectos. Con lo cual se cumple con este primer requisito.

b) Agujeros de insectos: Las tablas, láminas y perfiles para uso no estructural en general cumplen con este requisito, sin embargo, como la madera ya está inmunizada se podría pensar que este requisito podría llegar a ser un poco más flexible teniendo en cuenta la fuente del material.

c) Nudos: Los nudos por supuesto deben ser firmes de lo contrario, su tratamiento sería dispendioso y costoso, en cuanto al tamaño, remitiéndonos al comentario inicial, no deberían tener inconvenientes de aceptación.

d) Defectos de secado: No hay comentario adicional a este respecto.

3.2. Madera estructural

Esta investigación busca homologar para estas maderas de la fuente, los requisitos generales del **Manual de Diseño Para Maderas del Grupo Andino**, numeral 3.3.1, por lo tanto, según el requisito No 1, se deben revisar uno a uno los parámetros de clasificación visual para determinar un factor de seguridad aplicable con el fin de contemplar la afectación de los defectos presentes que no sean posible subsanar frente a estos requisitos; esta homologación se realizará únicamente en lo referente a la clasificación visual por defectos sin tener en cuenta las especies ya que el manual del pacto andino está hecho a partir de las especies de madera propias de la región andina y nuestro pino canadiense o pino radiata no está entre estas especies.

En cuanto a los requisitos No 2 y No 3, se debe configurar uno o varios grupos nuevos para esta madera, ya que seguramente el material de la fuente no está dentro de las especies forestales agrupadas en este manual como lo dice el numeral No 2 y las dimensiones disponibles en la fuente tampoco coinciden con las descritas en el numeral No 3. Esa también es tarea de esta investigación.

3.2.1. Contenido de humedad

Como se verá más adelante en la descripción de los ensayos realizados, se determinó que la humedad presente en los especímenes estudiados, se acerca a la humedad de equilibrio especificada en los manuales de diseño y no es necesario realizar procesos adicionales de secado para su correcta utilización.

3.2.2. Durabilidad natural y preservación

La durabilidad de la madera en estudio está suficientemente probada en las situaciones adversas

para la cual ha sido empleada como lo es el transporte por vía marítima y aérea de las piezas de la industria automotriz, por lo tanto, deberá proveerse de un adecuado sistema de protección mediante la aplicación de recubrimientos por impregnación para lograr una preservación adecuada en el tiempo de la madera estructural y no estructural.

3.3. CLASIFICACIÓN VISUAL POR DEFECTOS PARA MADERA ESTRUCTURAL

Aunque se puede pensar que esta madera inicialmente se desechó para material de construcción por alguna razón, también se debe reparar en el hecho que se usó como material para la fabricación de contenedores de grandes dimensiones, en los cuales se transportaron por vía marítima o aérea, piezas importantes de gran valor comercial que necesitaban de un sistema de protección muy resistente, por lo cual se puede inferir que esta madera bien hubiera podido ser parte de una solicitud estructural para construcción o que posee en alguna pequeña medida, los defectos que son causales de rechazo por clasificación visual y que no disminuyen notablemente la resistencia mecánica de la pieza, de lo contrario, tampoco serían parte de la estructura resistente del contenedor.

3.3.1. Alabeo por abarquillado

Cuando la zona central de la pieza se encuentra a un nivel superior o inferior que los bordes en una misma cara referenciados a una superficie plana.

En general como nuestros perfiles son rectangulares o cuadrados, este problema no es muy sensible, mientras que para la tabla sí puede llegar a ser definitivo; por lo tanto la madera cumple con el primer parámetro.

3.3.2. Alabeo por arqueadura

Se presenta cuando longitudinalmente, la zona central no se encuentra al mismo nivel de los extremos de la pieza; la tolerancia es de máximo el 0.33% ó 1 cm por cada 300 cm de longitud de la pieza.

En nuestros perfiles cuando van a ser usados como columnas, esta es una regla muy importante a cumplir, en general, no debería aceptarse el uso de perfiles que no cumplan este parámetro, sin embargo, en los perfiles que se han adquirido de la fuente, es muy común encontrar perfiles que sobrepasen este límite en aproximadamente un 50%, por lo tanto, dependiendo su uso del perfil, debe ser aplicado un coeficiente de reducción adicional por Arqueadura.

3.3.3. Alabeo por encorvadura

Referente al canto de las piezas, es básicamente el mismo efecto de la arqueadura y la tolerancia del 0.33%

Ocurre igual con nuestros perfiles, por lo tanto el coeficiente de reducción por arqueadura aplicaría igualmente para la encorvadura.

3.3.4. Alabeo por torcedura

Ocurre cuando las esquinas de la pieza no se encuentran en el mismo plano, se permite solo 1 cm de alabeo en una pieza de 3.00 metros de longitud.

Nuevamente, este defecto se manifiesta mayormente en las tablas, por lo que nuestros perfiles de la fuente no presentan este inconveniente.

3.3.5. Arista faltante

Se permite en una sola arista y la reducción de la cara y canto debe ser de máximo un 25% de su longitud.

La mayoría de los perfiles de sección pequeña como los cuadrados de 5.0 X 5.0 o rectangulares de 6.0 x 8.0, son de longitud reducida, es decir, máximo 2.50 metros, por lo tanto, si el perfil se va a emplear como columna y presenta una cantidad mayor a la permitida, el aserrar el perfil para eliminar el problema, va a causar problemas de falta de longitud, sin embargo para otros elementos como viguetas o soleras, etc, no van a presentarse inconvenientes con el aserrado.

3.3.6. Duramen quebradizo

Esta falla por lo general se encuentra en perfiles que han sido cortados muy cerca de la médula del tronco en especial en troncos de mayor edad; se caracteriza por la presencia de grietas en forma de arco a lo largo del perfil. No hay tolerancia en este defecto.

Al igual que la madera estructural de la NSR-10, este defecto no es subsanable en nuestros perfiles de la fuente, por lo tanto si hay algún perfil que presente duramen quebradizo, debe ser desechado como madera estructural; siguiendo el concepto que se dio en el inciso de madera no estructural, seguramente estos perfiles puedan ser empleados en muebles o puertas eliminando el defecto que presenta.

3.3.7. Escamadura o acebolladura

Se refiere a la separación de dos anillos de crecimiento consecutivos en el perfil, no se permiten en las aristas, si se permiten en las caras siempre que las escamas sean paralelas al eje de la pieza con máximo un décimo de espesor y menos a un cuarto de longitud total.

Este es un defecto que debería poder ser corregido en nuestros perfiles si se presentara, con el fin de no desecharlo para elemento no estructural.

3.3.8. Fallas de compresión

Es la aparición de arrugas de las fibras de la madera, que se presentan por ejemplo en la zona de compresión cuando la pieza ha sido sometida por ejemplo a una flexión excesiva. No se permite esta falla.

A nuestros perfiles, aplica totalmente esta restricción, ya que esta falla implica

deformaciones más allá del límite de proporcionalidad de la madera y teniendo en cuenta que es un material de reciclaje, la interpretación de los resultados de pruebas sobre especímenes que presenten fallas de compresión, van a ser de muy difícil interpretación con una muy alta probabilidad de inseguridad estructural.

3.3.9. Grano inclinado

Desviación de la fibras de la madera longitudinalmente. Se permite un máximo de 1/8

En este punto, nuestros perfiles a veces presentan una mayor inclinación del grano, por lo tanto, se debe aplicar un factor de reducción de resistencia adicional a los que presenten esta desviación para poder emplearlos, en especial cuando van a ser sometidos a flexión.

3.3.10. Grieta

Separaciones intercaladas de la madera que no afecta dos caras de una pieza, es decir que no atraviesan la pieza en ningún sentido, se acepta que su profundidad no sea mayor al 25% del espesor de la pieza.

Para nuestro caso, estas grietas deben ser de especial cuidado, por la razón de ser material de reciclaje; al presentar grietas, estas pueden ser debidas al transporte o al proceso de limpieza, por lo cual es posible que la imperfección sea mayor de lo que se ve a simple vista.

3.3.11. Médula

Zona del centro del duramen que es muy blanda y susceptible al ataque de Hongos e insectos, no se permite como parte del perfil de madera.

En nuestros perfiles, esta condición tampoco se permite.

3.3.12. Nudo sano

El nudo es la zona de crecimiento de ramificaciones en el árbol que se entrecruza en el desarrollo longitudinal de la fibra de la madera, el nudo sano, es aquel que es firme y que no se suelta durante el aserrado, secado y uso de la pieza, se permite hasta un diámetro de $\frac{1}{4}$ de la cara de la pieza y con separación mínima de 1.00 metros entre nudos.

Este es uno de los defectos de mayor presencia en los perfiles de la fuente, sin embargo, como se verá más adelante, la aplicación de un coeficiente de reducción de resistencia apropiado, facultará a los perfiles que presenten tolerancias superiores que las permitidas, debido a que en gran parte de los especímenes encontrados en la fuente, el diámetro de los nudos es superior al máximo permitido que es de 4.00 cm.

3.3.13. Nudo hueco

Son los nudos desprendidos o con deterioro, estos se permiten con diámetro de 1/8 del espesor de la pieza y hasta 2.0 cm y se deben evitar en zonas de tracción.

La misma norma aplicaría para nuestros perfiles y pensamos que no es necesario aplicar un factor de reducción de resistencia, ya que los perfiles que tienen nudos huecos los estamos rechazando como perfil estructural.

3.3.14. Nudos arracimados

Cuando dos o más nudos se encuentran agrupados, estos se consideran arracimados, no se permite ya que esta condición genera demasiada distorsión de la fibra.

En nuestros perfiles, esta condición generaría que toda la pieza tenga la fibra cortada en esa zona ya que los espesores son relativamente bajos, igualmente, no se detectó este tipo de agrupamiento de nudos en los perfiles seleccionados.

3.3.15. Parénquima

Son células de tejido blando, visibles en la sección transversal, son muy susceptibles al ataque de hongos e insectos, no se permiten en elementos sometidos a compresión paralela y de máximo 2 mm de espesor.

De los especímenes estudiados, los del grupo No 1 tienen mucha tendencia a presentar este parénquima; la incidencia de esta condición de la madera, se nota en el ensayo a compresión paralela, en donde el grupo No 1 presenta una reducción de hasta el 50% de la resistencia a compresión comparado con las probetas de los grupos No 2 y 3.

3.3.16. Perforaciones Pequeñas y grandes

Son agujeros o cavidades causadas por insectos o larvas durante el periodo de crecimiento tala y secado de la madera.

Las perforaciones pequeñas son de diámetros menores a 3 mm realizadas por insectos tipo ambrosía, los tipo Lyctus no se aceptan, deben tener distribución moderada máximo 100 agujeros en 100 cm², no deben estar alineados ni ser pasantes.

Las perforaciones grandes son de diámetros mayores a 3 mm producidos por insectos tipo Brocas de domicilio, se permiten máximo tres agujeros por metro lineal no alineados ni pasantes.

En realidad, los agujeros que presentan los nuestros perfiles son dejados por las puntillas y demás elementos de sujeción de las piezas para conformar los contenedores; estos agujeros, debido a que no son producto de especies biológicas, los podemos asumir como el efecto que produce el nudo hueco; adicionalmente, en las diferentes probetas se han tomado las dimensiones de estas perforaciones con el fin de estudiar el efecto de reducción de la resistencia que presenta en cada ensayo realizado, ya que las perforaciones dentro de estos perfiles, son los que realmente bajan el costo comercial de la madera de reciclaje razón por la cuál es necesario re-medir sus propiedades mecánicas y reacondicionarlos para un uso estructural.

3.3.17. Rajaduras

Son separaciones que presenta el leño entre elementos constitutivos de la madera y que atraviesan totalmente la pieza, estos se permiten únicamente en un solo extremo de la pieza y de longitud no mayor al ancho de la cara afectada.

En realidad nuestros perfiles de la fuente no presentan este defecto de manera natural ni en mayor número. En la mayoría de los casos, este defecto es producido por las labores de desarme de los contenedores debido al desgarre de extremo producido al halar del elemento de sujeción, pero no es muy frecuente o por el volumen de piezas no se hace muy frecuente.

3.3.18. Manchas

Las manchas naturales que son producidas por hongos y por insectos que emplean los hongos como fuente de alimento, generan en la madera (principalmente en la albura aunque con menor grado pueden atacar el duramen), superficies de madera de muy baja resistencia y con la posibilidad de continuar la degradación aún en estado seco (o en humedad de equilibrio), por lo tanto no son aceptadas.

En los perfiles que se encuentran en la fuente, se pre-supone que no se encuentran este tipo de defectos ya que la madera debe cumplir con los controles de calidad para madera de embalaje que son normas internacionales, por lo tanto este defecto es poco común y de hecho en los especímenes escogidos no se presentó.

Con respecto a la clasificación visual, la norma NSR-10 indica en su numeral G.1.3.4, que estos parámetros aplican a los elementos que hacen parte de una estructura ya montada y lista para poner en servicio ya que durante la instalación de cada elemento, es posible corregir algunos defectos de cada pieza; esto nos lleva a decir que nuestros perfiles de la fuente, pueden llegar a ser aptos para la construcción de estructuras de **baja o mediana solicitud**, teniendo en cuenta que los defectos del tipo biológico son inherentes a ellos al igual que los perfiles nuevos y los defectos mecánicos pueden ser subsanados mediante la aplicación de resinas o el retiro por medios igualmente mecánicos.

A continuación se reproduce parcialmente la tabla G.1.3-1 de la norma NSR-10, en la cual se listan los defectos y parámetros de la clasificación visual y se realiza paralelamente una revisión de los aspectos más relevantes de esta clasificación visual a los especímenes estudiados.

Tabla G.1.3-1
Tolerancia de la madera aserrada de uso estructural

	Defecto	Estructural Selecta (E.S)	Estructural Normal (E.N) (2)	Observaciones	Observación referente a los especímenes de la fuente
1	Dimensión real - En sección transversal - Longitud	- 2 mm, L < 150 + 4 mm, L > 150 -5 mm +5 mm	- 5 mm +5 mm - 8 mm +8 mm		No aplica ya que los especímenes tienen sección transversal y longitudes ya definidas
2	Alabeos - Abarquillado - Arqueadura - Encorvadura - Torcedura	< 0.01d < 0.003L < 0.003L < 0.003L	0.015d 0.005L 0.005L 0.005L	Torcedura en una sola arista.	Los especímenes se pueden corregir durante el armado
3	Arista faltante (una sola cara)	Máx. 0.25d Máx. 0.25L	Máx. 0.30d Máx. 0.30L	En una sola arista, con reducción de esfuerzos.	Los especímenes se pueden corregir durante el armado
4	Duramen quebradizo	No	No		Tampoco se permite
5	Escamaduras (una sola cara)	< 0.1b < 0.25b	< 0.1b < 0.25b	No se permite en las aristas	Los especímenes se pueden corregir durante el armado
6	Falla de compresión	No	No		Tampoco se permite
7	Grano inclinado	Máx. 1:8	Máx. 1:8	Con reducción de resistencia según (G2.2.3.7)	Se debe aplicar un mayor factor de reducción de resistencia
8	Grieta superficial	Suma < 0,25 b	Suma < 0,30 b		Se cumple
9	Medula	No	No		Tampoco se permite
10	Nudos (1 m entre nudos) Nudo sano Nudo hueco Nudos arracimados	Máx. 0,25 b/m, < 4mm Máx. 0,12 b/m, < 4mm No	Máx. 0,25 b/m, < 4mm Máx. 0,12 b/m, < 4mm No	Distancia entre nudos mayor a 1 m, no se permite en tercio central, ni en zona de tracción. Nudos huecos deben ser sellados con igual material y adhesivos	Se debe aplicar un mayor factor de reducción de resistencia en especial por el tamaño de los nudos, por lo demás se cumplen los requisitos
11	Perforaciones selladas (no alineadas ni pasantes) Pequeñas Grandes	Máx. 6 perf/100 cm ² 3 perf/m	Máx. 10 perf/100 cm ² 6 perf/m	Deberán ser sellados con igual material y adhesivos. D ≤ 3mm D ≥ 3mm	Se debe aplicar un factor de reducción de resistencia para poder avalar el perfil sin resanar las perforaciones
12	Pudrición	No	No		Tampoco se permite
13	Rajaduras	Long. Máx. = b	Long. Máx. = 1.5b	Solo en un extremo	Los especímenes se pueden corregir
14	Manchas	No	Mancha azul		Tampoco se permite

Como se puede ver inicialmente, hay tres defectos en estos especímenes con los que se debe tener especial cuidado en el momento de utilizar esta madera como parte de la estructura portante de una construcción, dos de estos defectos son propios de la madera y uno es debido a su uso original; estos defectos se tratarán mediante la búsqueda y aplicación de un coeficiente de reducción de resistencia apropiado para cada esfuerzo, que tenga en cuenta estas posibles deficiencias.

3.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES RESISTENTES DE LOS ESPECÍMENES DE MADERA DE LA FUENTE

Para este trabajo, se ha definido como “especímen”, al elemento prismático ya sea de madera o de metal que se encuentra en la fuente y que es adquirido para investigar sus propiedades mecánicas; estos elementos prismáticos o especímenes, en el caso de la madera, se encuentran en diferentes secciones transversales y diferentes longitudes, de cada espécimen se han extraído de manera sistemática, las probetas para cada uno de los ensayos de resistencia efectuados a los especímenes de la Fuente.

Se adquirieron en total 22 especímenes de madera, de los cuales se extrajeron como mínimo las siguientes probetas:

Ensayo de flexión	2 probetas
Ensayo de tensión paralela	4 probetas
Ensayo de compresión paralela a la fibra	3 probetas
Ensayo de compresión perpendicular a la fibra	3 probetas
Ensayo de tensión perpendicular a la fibra	3 probetas
Ensayo DE corte paralelo a la fibra	3 probetas

De estas probetas, algunas fueron descartadas por diferentes razones; el número total de probetas ensayadas fue de ciento cuarenta y un probetas de los diferentes ensayos establecidos para los especímenes de madera de la Fuente.

En el Manual de Diseño de Para Maderas del Grupo Andino, se encuentran las diferentes características físicas y propiedades de la madera así:

Características físicas:	<p>Contenido de humedad</p> <p>Cambios dimensionales</p> <p>Densidad y peso específico</p> <p>Expansión y conductividad térmica</p> <p>Transmisión y absorción del sonido</p> <p>Conductividad eléctrica</p>
Propiedades resistentes	<p>Resistencia a la compresión paralela a la fibra</p> <p>Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra</p> <p>Resistencia a la tracción</p> <p>Resistencia al corte</p> <p>Resistencia a la flexión paralela al grano</p>
Propiedades elásticas	<p>Módulo de elasticidad (MOE)</p> <p>Módulo de rigidez (G)</p> <p>Módulo de Poisson</p>

Todas las propiedades resistentes y elásticas interesan en esta investigación, sin embargo, de las características físicas, inicialmente solo nos interesan el Contenido de humedad, los Cambios dimensionales y la Densidad y Peso específico, con los cuales se podrán caracterizar los especímenes para su uso estructural.

A continuación se explican brevemente las características y propiedades estudiadas en los especímenes de la fuente.

3.4.1. Contenido de humedad:

Se definen tres tipos de contenido de humedad (CH) con base en las tres formas de agua contenida en la madera: agua libre, agua higroscópica y agua de constitución.

- Madera verde es cuando solo se ha perdido parte del agua libre.
- Madera seca cuando se ha perdido toda el agua libre y parte del agua higroscópica

contenida en las paredes celulares pero que no hace parte de la constitución de la célula de la madera.

- Madera anhidra, cuando se ha perdido totalmente el agua higroscópica lo cual se consigue secando la madera en un horno a temperaturas entre 101 y 105 °C durante un tiempo determinado.

El contenido de humedad relativo al peso anhidro está dado por la expresión:

$$CH\% = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{peso anhidro}}{\text{Peso anhidro}}$$

En la madera normalmente se diferencian dos niveles de CH de importancia, el punto de saturación de la fibra PSF que varía del 25 al 30% y el contenido de humedad de equilibrio CHE que como un parámetro estandarizado, está en un 12%.

El punto de saturación de la fibra se da cuando la madera ha perdido toda el agua libre y comienza a perder el agua higroscópica, es decir, cuando inicia el proceso de secado, en nuestros especímenes este PSF no es posible medirlo debido a que la madera ya está seca y la humedad se acondiciona a la humedad del ambiente en donde están almacenados y en donde se realizaron los ensayos mejor es medir.

La humedad de equilibrio CHE, es cuando la madera expuesta al aire pierde parte del agua higroscópica y el CH entra en equilibrio con el medio ambiente, este es el CH que se midió en las probetas de cada ensayo y de cada espécimen.

3.4.2. Cambios dimensionales:

Estos suceden por la pérdida o ganancia de agua higroscópica, en la dirección longitudinal las contracciones o expansiones del material no son tan notables siendo estas aproximadamente del 0.1%, sin embargo en sentido transversal y radial, estos cambios pueden llegar a ser importantes y son los responsables del cambio volumétrico de la madera.

La contracción o expansión se calcula con referencia al PSF por lo cual, no es posible determinarla con exactitud para nuestros especímenes.

3.4.3. Densidad y peso específico:

Se definen cuatro densidades en la madera con base en el contenido de humedad:

- Densidad verde DV es la relación entre el peso verde y el volumen verde
- Densidad seca al aire DSA es la relación entre peso seco al aire y volumen seco al aire
- Densidad anhidra DA es la relación entre el peso seco al horno y el volumen seco al horno

- Densidad básica DB es la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde
- El peso específico es la relación entre la densidad de la madera y la densidad del agua

La densidad básica DB se calcula suponiendo que el volumen verde de la madera es estable y el peso anhidro también es un valor estable, esta es la densidad que nos atañe en este estudio de la madera de la Fuente; para nuestros especímenes, suponemos que el volumen de la muestra que conseguimos en la fuente, tuvo un porcentaje de contracción del 2.0% en las dos direcciones transversales de la sección transversal del espécimen y 0.1% en la dirección longitudinal de la fibra, con lo cual podemos ajustar un poco la densidad de la madera de la fuente al calcularla con el peso anhidro y con el volumen del espécimen disponible; esto indica que el porcentaje de corrección para el volumen de todas las probetas es de 4.144%.

$$Volumen\ verde\ corregido = 1.04144 * Volumen\ medido$$

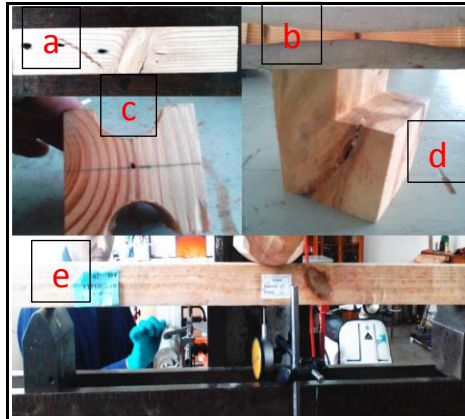
Por lo tanto, la densidad básica de nuestros especímenes se calculará como:

$$DB = \frac{Peso\ seco\ al\ horno}{Volúmen\ verde\ corregido}$$

3.4.4. Resistencia a la compresión paralela y perpendicular:

Debido a que la madera está formada por fibras y células en forma laminar, la resistencia a la compresión depende de la esbeltez de estas fibras y casi no de la resistencia mecánica de la madera como tal; por lo general en los perfiles que encontramos en la fuente, al ser prismáticos y alargados en la misma dirección de orientación de la fibra, no se hace necesario verificar la resistencia a compresión perpendicular, por cuanto nunca los perfiles van a estar sometidos a una fuerza de compresión a lo largo de su fuste salvo que sea un perfil bastante robusto colocado como viga de cimentación.

Las probetas que se extrajeron para realizar este ensayo y todos los demás ensayos que se describen a continuación, no son porciones de madera sana como lo indican las normas ASTM e ICONTEC, sino que se incluyeron los tres tipos de defectos, en especial los nudos y las perforaciones de manera que accidentalmente, la probeta incluyera o no incluyera estos defectos con el fin de analizar las propiedades mecánicas resistentes disponibles realmente en los especímenes, esto para poder de alguna manera garantizar las propiedades mecánicas del material de reciclaje que se consigue en esa fuente.



Fotografía 40.

Mosaico de probetas de diferentes ensayos que incluyen defectos:

- a) Compresión paralela a la fibra con presencia de un nudo de gran tamaño en una de las caras.
- b) Tensión paralela a la fibra con presencia de nudo en la zona de tensión.
- c) Tensión perpendicular a la fibra con perforación en la zona de tensión.
- d) Corte perpendicular a la fibra con presencia de un nudo no sano en la zona de corte
- e) Probeta para flexión con presencia de nudo en el centro de la luz.

3.4.5. Resistencia a la tracción

El manual de diseño de maderas del Grupo Andino en su numeral 1.4.3, menciona que “La resistencia a tracción paralela en especímenes pequeños libres de defectos es aproximadamente 2 veces la resistencia a la compresión paralela.”, esto va a ser materia de verificación para nuestros especímenes teniendo en cuenta que de cada perfil se extrajeron probetas para cada tipo de ensayo incluyendo compresión y las tensión paralela y perpendicular con la misma filosofía de incluir o no los defectos.

La figura muestra el esquema de extracción de probetas que se siguió para cada espécimen:

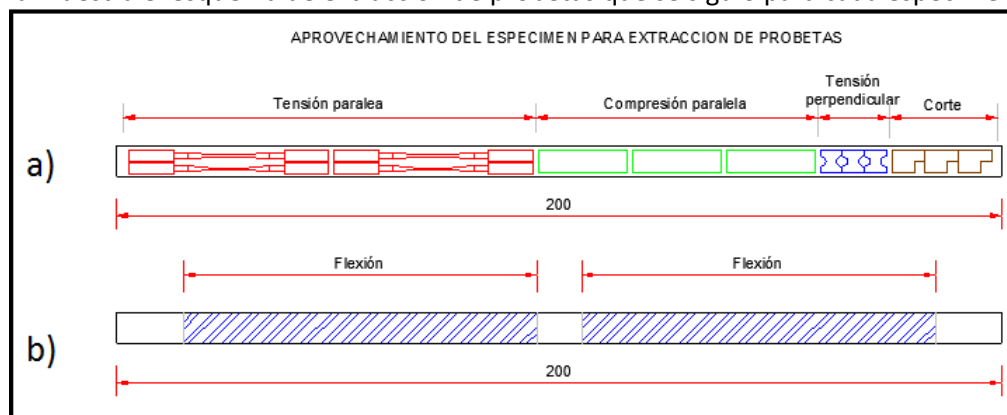


Figura 1: esquema de organización de probetas dentro de un espécimen de la fuente

- a) Probetas para ensayos de tensión, compresión y corte
- b) Probetas para ensayo de flexión

3.4.6. Resistencia al corte

Perpendicular a las fibras, la resistencia es mucho mayor que la que se presenta paralela a las fibras, ya que esta mide la resistencia que tiene la lignina que es el pegante natural que mantiene unidas las fibras de la madera; constitutivamente, la lignina es menos resistente que la fibra de la madera, por lo tanto el ensayo de corte se realiza paralelo a las fibras sin importar que estas estén en la probeta orientadas radial o tangencialmente.

3.4.7. Resistencia a la flexión paralela a la fibra

Se ensayaron vigas de 78 cm de longitud, unas de sección rectangular y otras de sección cuadrada casualmente de 5.0 x 5.0 cm de acuerdo a la norma ASTM e ICONTEC, sin embargo las rectangulares de tamaños nominal 7.0 X 5.0 cm y otras, no se maquinaron para lograr la sección normalizada sino que se ensayaron en la sección existente con el fin de continuar con la filosofía de ensayar los materiales con los defectos existentes; si bien el tamaño de la sección transversal no es un defecto y por lo tanto no necesita tener un coeficiente reducción de resistencia de diseño adicional, si nos brinda información precisa de las condiciones reales de los perfiles disponibles en la fuente.

Las secciones rectangulares se ensayaron en el sentido débil del perfil; las expresiones para calcular los módulos de la madera fueron corregidas para esta condición de ensayo.

3.4.8. Módulo de elasticidad y módulo de rigidez

El manual de diseño del grupo andino supone que la madera es un material homogéneo y por lo tanto para nuestra investigación, nos interesa solamente el módulo de rigidez y el módulo de elasticidad en el sentido de las fibras.

3.5. CARACTERIZACIÓN VISUAL DE LOS ESPECIMENES DE LA FUENTE

Una vez descritos los ensayos y propiedades buscadas en la investigación de los materiales más representativos disponibles en la fuente, desde el punto de vista de la ingeniería estructural y enfocada a la construcción de vivienda rural de uno o dos pisos, a continuación se desarrollará el proceso de muestreo y ensayo de los perfiles de madera.

Como se mencionó al inicio de este documento, la elección de los especímenes se hizo de manera aleatoria, sacando los perfiles de cada punto de almacenamiento tal como lo haría una persona que acude al sitio de fuente de material a comprar perfiles de madera reciclada, sin tener ningún conocimiento previo de la utilización ni experiencia en la compra de este tipo de material.

Una vez los materiales fueron adquiridos, se realizó la clasificación visual de la siguiente manera:

1. Se le asignó un puntaje de 1 a 10 a cada uno de los 18 ítems de la clasificación visual, en la cual los ítems corregibles durante el montaje pueden tener puntaje de 7 a 10, los que no se corrigen pero requieren de especial atención su puntaje puede ser de 5 a 10 y los no corregibles pueden variar de 0 a 10; el puntaje 10 lo recibe el ítem que no exista en el espécimen.
2. Con lo anterior, un perfil que sea calificado como totalmente estructural, debería tener un puntaje de 180, mientras que un perfil calificado como no estructural podría tener un puntaje de 122; los especímenes que obtengan un puntaje entre 123 y 180, son aptos para formar parte de una estructura por clasificación visual.
3. La forma de definir los puntajes es la siguiente:
 - Máximo de 180 es básicamente el máximo puntaje que puede recibir cada ítem
 - De 7 a 10, son los que se pueden corregir fácilmente mediante medios mecánicos, un puntaje de 6 implica que no se puede corregir.
 - De 5 a 10 son los defectos que para corregir es necesario aplicar resinas, pegantes y medio mecánicos, un puntaje de 4 implica que no se puede corregir.
 - De 0 ó 10, significa que son defectos que no se corrigen por ningún método y que existen o no existen respectivamente.
 - Mínimo puntaje de 123, resulta de aplicar el puntaje de 4 o 6 para los rangos de 5-10 y 7-10 respectivamente y mantener el puntaje de 10 para los defectos incorregibles, ya que no se puede emplear un espécimen con defecto incorregible.

Los rangos de puntaje que se definieron no indican que el espécimen no pueda tener una calificación menor, es decir, que si el rango está entre 7 – 10 teniendo en cuenta que el defecto presente se salga o no de los valores permitidos, la calificación puede ser 4 ó 0 si el defecto presente es corregible en menor grado o simplemente no es corregible ya sea por razones estéticas, económicas o de funcionalidad;

En si la clasificación visual es una herramienta muy valiosa y totalmente aplicable para nuestra madera reciclada, sin embargo, como es un método descriptivo y cualitativo, que es realizado por personas y no por máquinas, aplica en gran medida el criterio y los conocimientos de quien clasifique la madera; haciendo un paréntesis al desarrollo del estudio de los materiales, el realizar la clasificación visual puede llegar a convertirse en el primer obstáculo técnico para la construcción misma, si es el propietario del lote quien va a realizar la compra de los materiales y no tiene los conocimientos adecuados para hacer la selección; como se hace mención en la introducción de este documento y en la justificación de la investigación, la idea es que las construcciones con los materiales A. E. S. sean económicas e incluso que el propietario haga su auto construcción y el hecho de no tener los conocimientos básicos para seleccionar los perfiles adecuados para su estructura va a generar una vivienda insegura o tendría que conseguir una persona calificada para que escoja los materiales que va a comprar con el correspondiente costo que esto significa, sin

importar que sea solamente una jornada de trabajo de este especialista, este costo seguramente no está dentro de su presupuesto de obra porque seguramente se considera innecesario.

La escogencia de los perfiles debería realizarla una persona que tenga conocimiento de los defectos y de cómo inciden estos en el perfil y en la solicitud a la que va a estar sometido y también debería existir un acompañamiento de esta persona durante la obra de construcción o montaje para que se supervise que los defectos detectados van a quedar orientados de manera tal que causen el menor efecto negativo en el desempeño del perfil; si n embargo insistimos que esta actividad de clasificación visual es muy subjetiva con base en el criterio de la persona adiestrada o nó.

Volviendo a la clasificación visual de nuestros perfiles, en la figura 2 y extractados de la NSR-10 y del Manual de Diseño de Maderas del Grupo Andino, se listan los parámetros de clasificación visual con los rangos de calificación definidos y los puntajes máximos y mínimos de acuerdo a estos rangos para definir los límites de los materiales Estructurales, No Estructurales y Rechazados.

Figura No 2: Obtención de puntaje máximo y mínimo para clasificación visual de perfiles

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Puntaje mínimo	Puntaje máximo
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	6	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10	6	10
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10	6	10
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10	6	10
5. Arista faltante	de 7 a 10	6	10
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	10	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	6	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	10	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	4	10
10. Grieta	de 5 a 10	4	10
11. médula	0 ó 10	10	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	4	10
13. Nudo hueco	0 ó 10	10	10
14. Nudos arracimados	0 ó 10	10	10
15. Parénquima	de 5 a 10	4	10
16. Perforaciones	de 7 a 10	6	10
17. Rajaduras	de 5 a 10	4	10
18. Manchas	0 ó 10	10	10
		122	180

Como se vio atrás en la introducción del **CAPITULO 3 CARACTERIZACION ESTRUCTURAL DE LA MADERA DISPONIBLE EN LA FUENTE**, el que un perfil tenga puntaje de 122 o menor, no implica que sea desechado, sino que puede ser empleado en la fabricación de otros elementos constitutivos de la vivienda como muebles y puertas; adicionalmente y sin ningún sustento técnico, se definió como 30 el puntaje para que un espécimen sea rechazado también desde el punto de vista No Estructural, esto con el fin de que el clasificador visual, tenga en sus manos la elección de los materiales para elaborar acabados, recubrimientos y muebles.

La figura No 3 muestra el formato empleado para la clasificación visual de los materiales que encontramos en la fuente, estos formatos diligenciados para cada espécimen se pueden consultar en el anexo No 1.

La estructuración del formato de la figura No 3 no corresponde a ninguna norma en sí, sino que fue desarrollado en este documento con base en los parámetros de clasificación visual del Manual del Pacto Andino y se desarrolló a modo de propuesta para guiar el proceso de clasificación visual mediante el cuadro de puntajes por defecto.

De los 22 especímenes que se obtuvieron en la fuente de materiales y que se escogieron aleatoriamente como ya se ha explicado, solo dos no pasaron la calificación como materiales estructurales pero de igual manera se emplearon para extracción de probetas que incluyeron en su interior los defectos propios de los especímenes ya que el objetivo de esta investigación fue obtener el resultado de las pruebas mecánicas en elementos que potencialmente fueran parte de la estructura portante de la vivienda. No obstante lo anterior, el formato y la experticia de quien lo diligencia, van a ser herramientas valiosas para en un futuro catalogar la madera de reciclaje para sus diferentes usos dentro de un proyecto de vivienda rural.

En la figura 4 se muestra una tabla con los resultados de los especímenes clasificados.

Figura 3: Formato para clasificación visual de especímenes de la fuente

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT			
<div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 100px; margin-bottom: 5px;"></div>		Identificación Fecha de obtención Tipo de perfil Longitud Base Altura Espesor Grupo de clasificación	
Parámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10		
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10		
3. Alabeo por encurvadura	de 7 a 10		
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		
5. Arista faltante	de 7 a 10		
6. Duramen quebradizo	0 ó 10		
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10		
8. Fallas de compresión	0 ó 10		
9. Grano inclinado	de 5 a 10		
10. Grieta	de 5 a 10		
11. médula	0 ó 10		
12. Nudo sano	de 5 a 10		
13. Nudo hueco	0 ó 10		
14. Nudos arracimados	0 ó 10		
15. Parénquima	de 5 a 10		
16. Perforaciones	de 7 a 10		
17. Rajaduras	de 5 a 10		
18. Manchas	0 ó 10		
Aplicabilidad: Estructural (123 - 180) puntos No estructural menor a 122 puntos Rechazado menor a 30 puntos		Puntaje total obtenido por el espécimen 0.0 Aplicabilidad del espécimen Estructural Observaciones:	

Figura 4: Resumen de la clasificación visual efectuada a los especímenes adquiridos en la fuente

Identificación	Puntaje obtenido	Aplicabilidad	Observaciones
MA - 01	173	Estructural	Emplear con precaución en zonas solicitadas a tensión
MA - 02	177	Estructural	Ninguna
MA - 03	176	Estructural	Reparar hueco con resina si se va a emplear en solicitaciones a compresión
MA - 04	151	Estructural	No emplearlo en solicitaciones a compresión, para su uso como vigueta debe ser soportado en la zona del nudo descrito
MA - 05	172	Estructural	Ninguna
MA - 06	165	Estructural	Emplear en solicitaciones a flexión teniendo precaución de instalar las fibras distorsionadas en la zona de compresión
MA - 07	163	Estructural	Emplear en solicitaciones secundarias de flexión, NO en estructura principal
MA - 08	168	Estructural	Tener especial cuidado con la manipulación para corregir torcedura
MA - 09	117	No Estructural	El perfil corregido es demasiado corto para emplearlo en una estructura y presenta defectos de crecimiento peligrosos para cualquier uso estructural
MA - 10	160	Estructural	Corregir defectos para emplear
MA - 11	129	No Estructural	No obstante la calificación supera la mínima, se recomienda no emplear este perfil en la estructura debido al elevado contenido de nudos de importancia estructural.
MA - 12	158	Estructural	Corregir defectos y emplear solamente en elementos estructurales secundarios NO en la estructura principal
MA - 13	163	Estructural	Emplear con precaución en solicitaciones a compresión
MA - 14	142	Estructural	No obstante la calificación del perfil es superior a la mínima, no se recomienda emplearlo en estructura principal debido a que tiene dos defectos de importancia como son el nudo cristalizado y el conducto de apariencia espumosa; lo anterior sumado a la torcedura de difícil corrección.
MA - 15	157	Estructural	Se deben reparar las perforaciones mediante la aplicación de resina, en especial la perforación central.
MA - 16	148	Estructural	Por la longitud del perfil se entiende que no se va a emplear como columna en la estructura principal; Se debe tener especial cuidado al emplearlo como viga de no colocar los nudos en la zona de tensión.
MA - 17	143	Estructural	Por la presencia de los nudos, no se recomienda para estructura principal, se debe limitar su uso en correas o riostras para cubierta, teniendo precaución de no colocar los nudos en la zona de tensión.
MA - 18	145	Estructural	Tener precaución si se va a emplear como elemento a compresión debido a la distorsión de sus fibras.
MA - 19	145	Estructural	Emplear en vigas o en columnas de escaleras ya que su longitud no permite su uso en columnas de la estructura principal
MA - 20	155	Estructural	Para su correcta instalación dentro de la estructura portante, debe ser reparada la perforación de 8 mm mediante la aplicación de resina
MA - 21	169	Estructural	Se puede emplear en solicitaciones a flexión tensión o compresión donde su longitud lo permita
MA - 22	165	Estructural	Se puede emplear en solicitaciones a flexión tensión o compresión donde su longitud lo permita

3.6.PROCESO DE OBTENCION DE PROBETAS

Una vez clasificados visualmente, los especímenes se llevaron a la carpintería de Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, donde los operarios se encargaron de extraer las probetas más o menos con el esquema de extracción mostrado en la figura 1, que se reproduce a continuación:

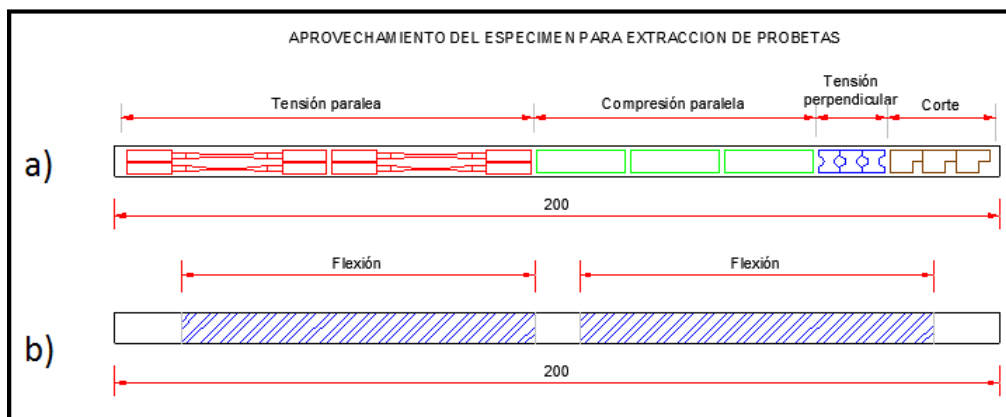


Figura 1: esquema de organización de probetas dentro de un espécimen de la fuente

Debido a que algunos especímenes son de longitud menor a 200 centímetros, la cantidad de probetas no fue totalmente igual a la del esquema, pero en general se consiguieron mínimo dos probetas para cada ensayo.

Desafortunadamente, en la época en la cual se solicitó a la carpintería de la universidad la extracción de probetas, ocurrió el primer paro de trabajadores del año 2013 con lo cual por extrañas circunstancias, del espécimen No 3 no se extrajeron probetas; el proceso para extracción de probetas se describe a continuación en tres pasos:

El primer paso fue la limpieza de los especímenes mediante la extracción de los elementos de sujeción y lijado de las piezas por métodos mecánicos de cepillado.



Fotografías No 41 y 42: Especímenes limpios mediante cepillado y libres de puntillas y grapas

En estas imágenes se puede apreciar el potencial estético de la madera una vez limpia, que se diferencia de la madera sin arreglar en la que solamente se ve la suciedad y las fallas en el aserrado con superficies arrugadas, astilladas, ásperas al tacto, etc; una de las ventajas económicas de estos perfiles es que no necesitan ser aserrados ni arreglados para su uso estructural, sin embargo si son reclasificados como estructurales, se puede aprovechar igualmente su estética dejando la estructura a la vista, o si por el contrario son reclasificados como no estructurales, su principal valor será el estético en especial por las formas y contornos que generan las vetas de diferentes tonalidades amarillas y rojizas.



Fotografías No 43 y 44: Especímenes limpios mediante cepillado y libres de puntillas y grapas

Otra de las características que se evidencian con la limpieza, son los defectos que presenta la pieza en cuanto a desviación del grano, presencia de nudos y perforaciones; seguramente cuando se aserró la pieza del árbol, estos defectos se hicieron evidentes en el duramen recién cortado y limpio, por esta razón se emplearon como contenedores y no como material de construcción, pero también continua siendo válida la hipótesis ya mencionada anteriormente, en la cual se asume que los especímenes deben tener ciertas características de resistencia y deformación del tipo estructural o de lo contrario no serían parte de un contenedor que transporta piezas de gran valor comercial.

El segundo paso fue realizar el corte de los prismas que luego se maquinarían para fabricar las probetas de cada ensayo con sus medidas respectivas.



Fotografías No 45, 46 y 47 Prismas cortados para elaboración de probetas de tensión paralela. Las imágenes muestran las probetas de tensión paralela marcadas con lápiz sobre los prismas cortados.

El tercer paso es el de elaborar las briquetas una vez los prismas están cortados y marcados y empaquetarlos separadamente en bolsas en las cuales están contenidas todas las probetas extraídas de cada espécimen.



Fotografías No 48, 49, 50 y 51 Proceso de corte y separación de las briquetas maquinadas

El número que se ve en los prismas y en las briquetas ya maquinadas corresponde al número de identificación del espécimen, esto para llevar la trazabilidad en los datos de los ensayos, con el fin de refinar la agrupación del espécimen que ya se realizó en primera instancia durante **la clasificación visual**; los resultados de los ensayos sobre las probetas debería reclasificar los especímenes por grupos de resistencia o simplemente afianzar los grupos especificados en **la clasificación visual**, esto se verá más adelante en el análisis de los datos obtenidos experimentalmente para cada ensayo.

Para las probetas a flexión no se realizó cepillado ni mecanizado de los especímenes, solamente se realizó el retiro de puntillas y grapas debido a que la importancia de este ensayo es identificar la propiedad del módulo de rotura y el esfuerzo de flexión de la madera en sus dimensiones disponibles en la fuente.

Por último, las probetas de cada ensayo fueron identificadas con número consecutivo, tipo de ensayo y con número de su espécimen. (Figura No 5)

Figura No 5: Identificación de las probetas para ensayos



3.7. ENSAYOS PRACTICADOS SOBRE PROBETAS DE LOS ESPECIMENES DE MADERA DE LA FUENTE

Una vez elaboradas e identificadas las probetas se procedió a realizar los respectivos ensayos en los laboratorios de Estructuras, suelos y mecánica de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá.

Los ensayos realizados sobre las probetas de madera siguen los estándares de las normas ASTM e ICONTEC en lo referente a ensayos sobre productos de madera; no es necesario realizar una reproducción de las normas mencionadas ya que los procedimientos están suficientemente detallados en ellas y se pueden consultar fácilmente; así mismo, los resultados particulares de los ensayos practicados se encuentran detallados en los formatos correspondientes; a continuación se referencian las normas empleadas para la realización de los ensayos y el anexo de consulta:

NTC 944 Determinación de la tracción paralela al grano – Anexo No 2

NTC 784 Determinación de la resistencia a la compresión axial o paralela al grano – Anexo No 3

NTC 961 Determinación de la tracción perpendicular al grano – Anexo No 4

NTC 785 Determinación de la compresión perpendicular al grano – Anexo No 5

NTC 775 Determinación de la resistencia al cizallamiento paralelo al grano Anexo No 6

NTC 663 Determinación de la resistencia a la flexión – Anexo No 7

CAPITULO 4

ESTUDIO DE LOS PERFILES METALICOS ENCONTRADOS

ESCOGENCIA E IDENTIFICACIÓN DE LOS ESPECÍMENES:

En la fuente se encontraron perfiles metálicos de sección transversal tubular de diferentes medidas y longitudes; a la vista y al tacto, estos perfiles son de un material muy similar; se podría pensar que el material que conseguimos fue el mismo a lo largo de esta investigación.

Encontramos perfiles cuadrados de sección 1.5x60x60 mm que podrían resultar de gran interés estructural en especial para elementos sometidos a compresión, sin embargo, estos perfiles no superaban los 1.30 Metros de longitud y fueron siempre escasos; durante nuestras visitas a la fuente, nunca encontramos más de cinco especímenes o en algunas ocasiones ninguno y estos estaban en muy malas condiciones o en la longitud mencionada, así es que al comparar su potencial con los perfiles de sección 1.5X30X60 mm que se consiguen en longitudes mayores, estos fueron perdiendo su capacidad de aprovechamiento dentro de la estructura de una vivienda rural; sin embargo, a pesar de no encontrarlos en una longitud muy provechosa, es posible unirlos mediante procesos de soldadura y lograr longitudes más favorables, esto por supuesto implica aumentar los costos de este material por requerirse materiales fungibles adicionales y mano de obra calificada para esta labor.

Contando con que el material del que están fabricados los tubos de cualquier sección transversal de la fuente fuera el mismo, podríamos asumir que al estudiar algunos de estos tubos, estuvieran cubiertos los de 1.5X60X60, con el fin de contemplar estos dentro de una posible solución estructural obviamente teniendo en cuenta el sobre costo que esto pudiera implicar.

Más comunes resultaron los perfiles de sección 1.5X20X20 mm y en menor proporción pero también de muy buena existencia, los de sección 1.5X40X40 mm, en longitudes desde 1.30 a 1.80 metros.

Finalmente, decidimos trabajar con los perfiles tubulares de sección 1.5X30X60, debido a cuatro razones fundamentales:

- Durante todas las visitas realizadas a la fuente, este perfil se mantuvo siempre con un muy buen stock.
- Los tubos en su gran mayoría se encuentran en buen estado, excepto por algunas puntas aplastadas.
- Se consiguen longitudes de hasta 2.00 metros y en muy buena cantidad.
- Mayor rotación dentro de los materiales metálicos de la fuente

Estos especímenes metálicos o perfiles tubulares, se fueron adquiriendo desde el mes de octubre de 2012 hasta el mes de mayo de 2013, con lo cual se tiene una gran dispersión de materiales en distintas épocas del año.

Es muy difícil especificar la fecha de llegada del material a la Fuente ya que a veces su rotación es inmediata así como en otras ocasiones el producto de reciclaje se demora unos pocos días en venderse manteniendo un buen stock, lo cual como ya se mencionó, es una de las razones por las cuales decidimos escoger este tipo de perfil para estudio, ya que es el de mejor rotación comercial en la fuente.



Fotografía 52 Especímenes metálicos de la fuente

Teniendo en cuenta que estos especímenes metálicos eran muy similares en su material durante todas las visitas, se determinó realizar solo dos ensayos tendientes a comprobar o refutar esta hipótesis; a su vez estos ensayos sirvieron para determinar las propiedades mecánicas buscadas para caracterizar el material.

Para el estudio de los materiales metálicos encontrados en la Fuente, nuevamente se define como espécimen al elemento encontrado de sección tubular y con una longitud tal que de este se puedan extraer las probetas para los ensayos realizados.

4.1. ENSAYO DE TENSION PARA ESPECIMENES METALICOS

Los especímenes o perfiles tubulares encontrados en la Fuente, fueron sometidos a ensayos de tensión normalizada con el fin de determinar su resistencia a fluencia, resistencia a la rotura y su módulo de elasticidad mediante la construcción de curvas de esfuerzo Vs deformación unitaria.

Estos perfiles tubulares están fabricados mediante laminado en frio a partir de una plancha del espesor encontrado, la cual es maquinada para formar la sección transversal rectangular de la que disponemos; posterior a este proceso de doblado, se realiza una costura mediante soldadura por inducción eléctrica para cerrar la sección en una de las caras mayores conformando así el perfil metálico de lámina delgada que escogimos para el estudio.



Fotografía 53 Especímenes metálicos de la fuente

Se obtuvieron ocho especímenes metálicos de los cuales se extrajeron tres probetas de la cara mayor descartando aquella donde se ubica el cordón de soldadura y descartando también las porciones redondeadas producto del proceso de laminado en frio, ya que durante el proceso de formado de la sección rectangular, los bordes de esta sufrieron altas deformaciones y por lo tanto tienen esfuerzos residuales posiblemente por encima de F_y ; en total se ensayaron 24 probetas a tensión.

Para el desarrollo de este ensayo, se siguió el modelo del documento ASTM E8/E8M-09

Las probetas para el ensayo de tensión fueron identificadas por la letra **S**, seguida de un número secuencial del espécimen **<3>** y finalmente por el número secuencial de la probeta, es decir, la probeta identificada como **S3-2**, corresponde a la probeta No 2 del espécimen S3.



Fotografía 54 Probetas para ensayo de tensión sobre especímenes metálicos.

Similar a los especímenes de madera, estos perfiles tubulares metálicos también deben tener una clasificación visual inicial para validar su uso dentro de una estructura, sin embargo, esta clasificación es por un gran margen, muy sencilla comparada con la clasificación visual del espécimen de madera según las normas NSR-10 y PADT-REFORT.

La mayor preocupación a la hora de seleccionar los perfiles metálicos, es fijarse en la apariencia de estos evitando tener deformaciones longitudinales apreciables a simple vista y desechando tubos rasgados por el proceso de limpieza, esto debido a que estos tubos hacen parte de bases y cajas metálicas y por lo tanto presentan ángulos y platinas soldadas que en muchos casos son rasgados del perfil provocando huecos por rasgado en varios puntos a lo largo del tubo.

El perfil debe rechazarse si presenta al menos un hueco debido a este rasgado por limpieza; y debe rechazarse ya que no es posible su reparación porque esto definitivamente implicaría sobre costos de material fungible y mano de obra calificada que duplicaría o triplicaría el costo del perfil haciéndolo antieconómico; también estos huecos implican deformaciones en el material circundante más allá del límite de fluencia y el hecho de tener que reparar con soldadura y procedimientos de calentamiento del material, añadiría una reducción de resistencia adicional a los esfuerzos residuales por el rasgado.

Las razones por las cuales se debe rechazar un perfil rasgado son:

- Sobre costo exagerado del material reparado
- Esfuerzos residuales por encima de F_y en las zonas circundantes del rasgado
- Disminución de la resistencia por calentamiento del material en las zonas circundantes a la reparación.

Existe también otro tipo de deformación del perfil que consiste en tener una o ambas puntas

dobladas o incluso aplastadas; esta afectación es fácilmente subsanable retirando por medios mecánicos las puntas deformadas que por su ubicación dentro de la estructura, incidan negativamente en la resistencia estructural; para esto, se debe tener en cuenta que la longitud del elemento se verá disminuida en la porción que se requiera retirar.



Fotografía 55 Platinas de sujeción sin retirar del perfil sin afectación por rasgado.

En la Fotografía No 55, se aprecian los perfiles que permanecen con parte de los elementos de sujeción y que algunos de estos elementos han sido retirados mediante el uso de pulidoras que no rasgan el material disminuyendo la generación de esfuerzos residuales que seguramente estarán por debajo de F_y .

Los especímenes 1 al 8, fueron empleados para extraer las probetas de tensión y de análisis químico con lo cual su longitud se redujo en aproximadamente 1.00 metros, por lo cual no se efectuó el proceso de clasificación visual ya que estas probetas se extrajeron de sitios sanos del perfil tubular y tampoco se realizó otro tipo de ensayo en estos especímenes; los resultados particulares de los ensayos realizados a las 24 probetas de tensión de 8 especímenes, se pueden consultar en el anexo No 2 Ensayos de tensión sobre probetas de especímenes metálicos.

Para la elaboración de las probetas fue necesario realizar cortes mediante segueta manual y pulir con lija manual y disco de pulidora para lograr la forma de corbatín con las medidas estandarizadas según las normas de este ensayo



Fotografía 56 Elaboración de las probetas para el ensayo de tensión sobre metales.

4.2. ENSAYO DE ANALISIS QUIMICO PARA CLASIFICACION DE ACEROS Y METALES

De los ocho especímenes metálicos estudiados, se extrajo una placa de 40 mm x 40 mm de cada uno para la determinación de su composición química; a cada una de las placas se les realizó tres quemas.

Una de las grandes ventajas de los materiales metálicos como nuestros especímenes de la Fuente, es que pueden llegar a ser representativamente más homogéneos comparados con otros materiales; por lo tanto, la caracterización mecánica de los perfiles tubulares de la Fuente, es más sencillo y corto que el proceso que tuvimos que realizar a los especímenes madera que estamos analizando paralelamente.

El ensayo de Análisis de composición química de metales mediante absorción atómica, nos da una idea muy precisa del tipo de material del que están compuestos nuestros especímenes metálicos de la Fuente; esto se realiza comparando el resultado de la composición química con tablas de composición química estandarizados.

Como se mencionó en el inciso anterior, las probetas o platinas para este ensayo fueron extraídas de porciones sanas de los especímenes; por tratarse de perfiles de lámina delgada, fue necesario recortar dos porciones para cada probeta con el fin de evitar que la quema dañara la base de la máquina.

Para la elaboración de las platinas se cortaron porciones de tubería de aproximadamente 60 mm de longitud, de las cuales se obtuvieron las dos platinas de cada probeta de las caras de 60 mm descartando las caras de 30 mm; la platina de la cara en la cual se encuentra la costura de

soldadura se empleó para la protección de la máquina mientras la platina de la cara sana fue sobre la cual se realizaron las quemas.

La platina sobre la cual se realiza la quema, debe limpiarse para retirar la grasa propia los materiales laminados, así como para retirar oxido, polvo y otras impurezas adheridas que generen resultados erróneos del análisis químico; esta limpieza debe hacerse mediante lijado mecánico o manual hasta alcanzar el nivel de metal blanco.

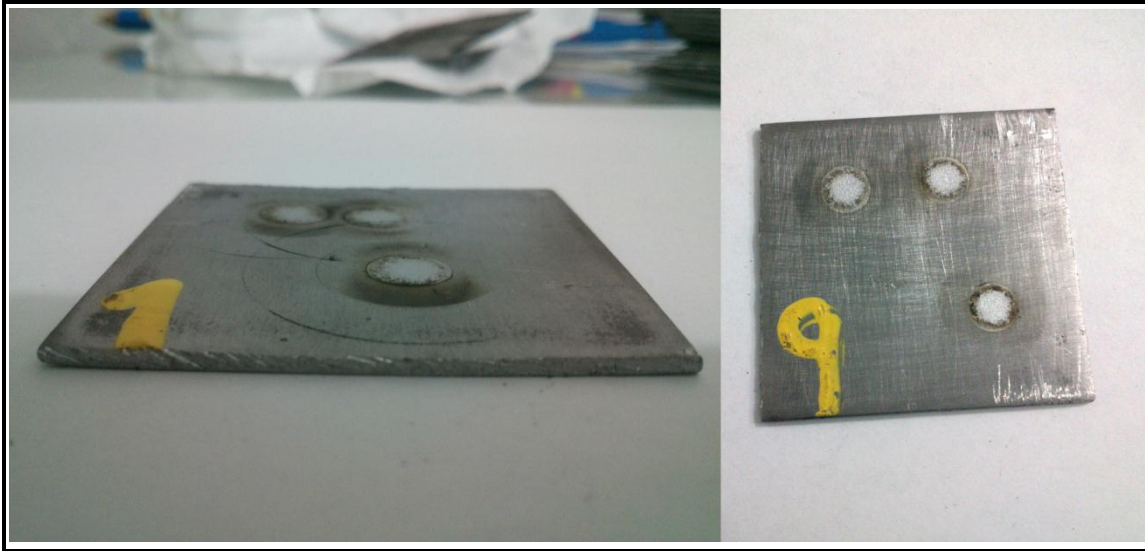


Fotografía 57 Porciones de tubería con una cara limpia a nivel de metal blanco.



Fotografía 58 Platina y contra-platina de cada espécimen.

La máquina realiza 3 quemas sobre cada platina y entrega un informe en con los resultados de los análisis para cada quema y el promedio aritmético de los tres, con lo cual se realiza la comparación en las tablas de composición química de materiales según normas ANSI, DIM e ISO.



Fotografía 59 Platinas con las quemas realizadas.

Estos dos ensayos realizados a los especímenes metálicos de la fuente, son complementarios uno con el otro, ya que con el ensayo de tensión construimos una curva esfuerzo deformación que nos provee información del módulo de elasticidad, esfuerzo de fluencia y esfuerzo último que se espera del material, sin embargo, este ensayo contiene errores intrínsecos generados por el error estándar de la máquina de tensión, el deslizamiento de las mordazas que soportan la cabeza de las probetas y los defectos de fabricación de las probetas; mediante las correcciones necesarias, estos valores de esfuerzos y módulos, se pueden ajustar y deberían confirmar los esfuerzos y módulos propios del tipo de material que se clasifica mediante la comparación de la composición química en las tablas.

CAPITULO 5

DESARROLLO DE LA CARACTERIZACION DE LOS ESPECIMENES DE MADERA

Una vez realizados todos los ensayos propuestos sobre los materiales de madera encontrados en la Fuente, procedemos a realizar el análisis de los datos obtenidos realizando así una caracterización global para toda la madera disponible y una caracterización por grupos con el fin de determinar si existe un uso apropiado a toda la gama de maderas que se consigue en la Fuente.

Las gráficas y tablas que se consolidan en este capítulo están soportadas en las planillas de resultados que se pueden consultar en los anexos correspondientes a cada ensayo efectuado; estos anexos serán referenciados cuando sea necesario.

Como se mencionó en el capítulo **Identificación de los especímenes - Clasificación por grupos**, según su densidad aparente y su coloración, en la fuente se identifican fácilmente tres grupos con características visuales y densidades muy similares; mediante el análisis de los resultados obtenidos, nos daremos cuenta que estos grupos definidos por inspección visual, conservan una similitud en sus propiedades mecánicas que valida esta diversificación.

5.1.DENSIDAD DE LA MADERA

Las tablas 3.1 y 3.2 nos muestran los resultados de densidad medida para las 141 probetas extraídas y los especímenes de los cuales provienen.

Para el cálculo de la densidad, se obtuvieron porciones de la probeta de sectores sin deformaciones provocadas por el ensayo (es el caso de las probetas de tensión corte y flexión) o se empleó la probeta completa antes de fallar (como es el caso de las probetas de compresión), a

las cuales se le midió sus dimensiones geométricas y su peso anhidro.

La densidad se tomó para cada una de las probetas obteniendo así una gran cantidad de datos para cada espécimen con lo cual se calculó el promedio de medidas de densidad para cada uno; la densidad medida se ajustó empleando el factor de corrección de 1.04144, definido en el aparte de Densidad del capítulo CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y PROPIEDADES RESISTENTES DE LOS ESPECÍMENES DE MADERA DE LA FUENTE numeral **3.4.3. Densidad y peso específico**.

Teniendo en cuenta la densidad básica corregida, los especímenes 11, 14 y 17, se salieron del límite inferior de 400 Kg/m³; si observamos las fotografías de estos materiales, rápidamente identificamos que presentan pocos anillos de crecimiento, un color pálido respecto a otros especímenes y obviamente son los más livianos; probablemente se deba a que provienen de árboles poco maduros.

No obstante lo anterior, el factor de corrección lo asumimos debido a que no tenemos información exacta de las dimensiones iniciales de los especímenes cuando fueron aserrados, por lo tanto si tomamos el valor de la densidad inicialmente calculada, todos los especímenes entran en el parámetro definido.

El promedio total de densidad básica corregida de los materiales estudiados es de 473.08 Kg/m³ y de 487.92 Kg/m³ descartando los especímenes 11, 14 y 17.

Tabla 3,1 Densidad básica promedio de los especímenes empleados en los ensayos normalizados de Flexión y compresión perpendicular

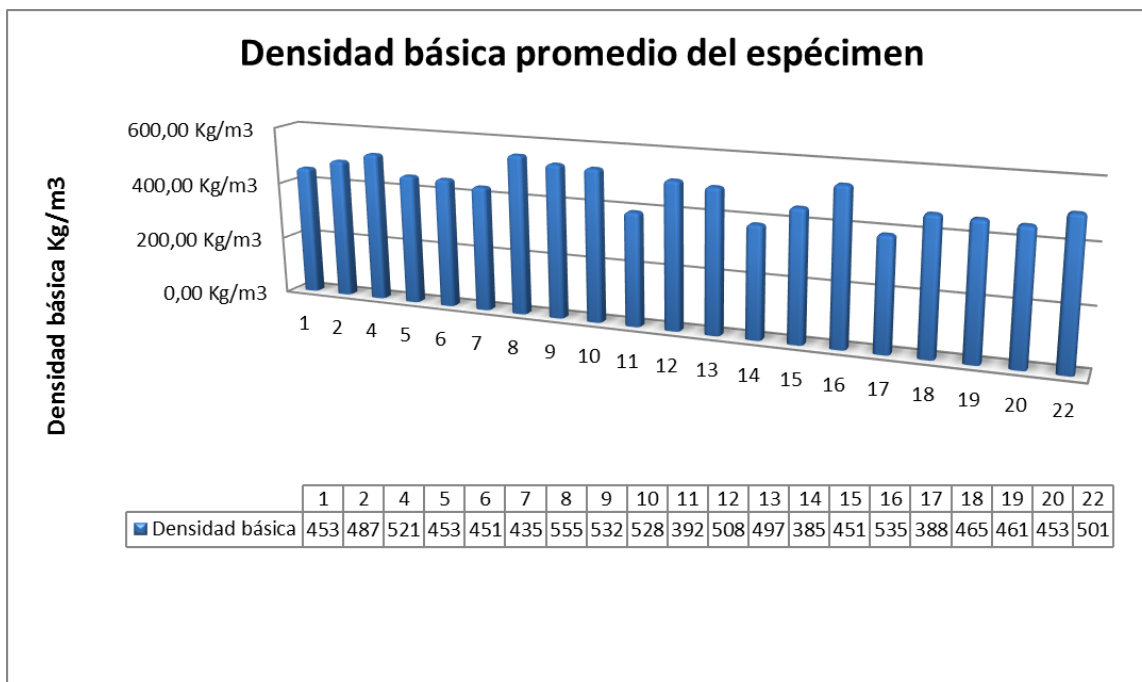
Ensayo	Espécimen	Probeta	Densidad calculada	Densidad corregida	Densidad básica promedio del espécimen
Flexión en probetas	9	1 2	562,49 547,14	540,11 525,37	532,74 Kg/m ³
Flexión en probetas	10	3 4	608,99 570,78	584,68 548,07	528,28 Kg/m ³
Compresión perpendicular		22 23 24	607,19 607,23 356,79	583,03 583,07 342,55	
Flexión en probetas		5 6	408,5 408,03	392,25 391,8	
Compresión perpendicular	11	7 8 9	409,37 409,36 409,12	393,08 393,07 392,84	392,61 Kg/m ³
Flexión en probetas	12	7 8	512,92 484,21	492,51 464,95	508,86 Kg/m ³
Compresión perpendicular		25 26 27	551,04 550,98 550,57	529,12 529,06 528,66	
Flexión en probetas		9 10	514,23 521,79	493,77 501,03	
Compresión perpendicular	13	16 17 18	514,17 513,5 513,44	493,71 493,07 493,01	497,40 Kg/m ³
Flexión en probetas	14	11 12	404,95 387,29	388,83 371,88	385,90 Kg/m ³
Compresión perpendicular		1 2 3	405,31 405,80 406,13	389,18 389,65 389,96	
Flexión en probetas		13 14	471,8 464,66	453,03 446,17	
Compresión perpendicular	15	13 14 15	472,27 471,61 471,75	453,48 452,84 452,98	451,70 Kg/m ³
Flexión en probetas	16	15 16	558,41 557,55	536,19 535,36	535,78 Kg/m ³
Flexión en probetas	17	17 18	406,09 403,06	389,93 387,02	388,48 Kg/m ³
Compresión perpendicular		5 6 7	406,19 406,29 407,66	390,03 390,12 391,44	
Flexión en probetas		19 20	485,04 482,64	465,74 463,43	
Compresión perpendicular	18	19 20 21	489,89 486,97 485,06	465,6 467,59 465,72	465,62 Kg/m ³
Flexión en probetas	19	21 22	481,6 478,73	462,44 459,68	461,06 Kg/m ³
Flexión en probetas	20	23 24	472,37 472,63	453,58 453,82	453,63 Kg/m ³
Compresión perpendicular		10 11 12	472,17 472,75 472,21	453,38 453,94 453,42	
Flexión en probetas		26 27	520,01 525,42	499,32 504,52	

Tabla 3,2 Densidad básica promedio de los especímenes empleados en los ensayos normalizados de tensión corte y compresión

Ensayo	Espécimen	Probeta	Densidad calculada	Densidad corregida	Densidad básica promedio del espécimen
Tensión paralela	1	23, 24, 25	472,50	453,70	453,03 KG/m3
Compresión paralela		16	472,79	453,98	
		17	472,48	453,68	
		18	478,44	459,40	
Tracción perpendicular		1	468,4	449,76	
		2	470,71	451,98	
		3	469,56	450,88	
Corte paralelo		19	471,03	452,29	
		20	470,72	451,99	
		21	471,43	452,67	
Tensión paralela	2	19, 20, 21, 22	505,2	485,10	487,50 KG/m3
Compresión paralela		10	505,36	485,25	
		11	504,93	484,84	
		12	505,5	485,39	
Tracción perpendicular		19	510,87	490,54	
		20	507,62	487,42	
		21	510,07	489,77	
Corte paralelo		16	520,3	499,60	
		17	504,54	484,46	
		18	502,68	482,68	
Tensión paralela	4	15, 16, 17, 18	542,7	521,11	521,16 KG/m3
Compresión paralela		4	544,33	522,67	
		5	543,84	522,20	
		6	545,17	523,48	
Tracción perpendicular		16	540,53	519,02	
		17	542,15	520,58	
		18	541,32	519,78	
Corte paralelo		13	542,33	520,75	
		14	542,24	520,66	
		15	542,98	521,37	
Tensión paralela	5	11, 12, 13, 14	481,8	462,63	453,81 KG/m3
Compresión paralela		7	471,93	453,15	
		8	480,03	460,93	
		9	476,79	457,82	
Tracción perpendicular		7	467,17	448,58	
		8	468,36	449,72	
		9	468,04	449,42	
Corte paralelo		10	469,89	451,19	
		11	469,89	451,19	
		12	472,21	453,42	
Tensión paralela	6	7, 8, 9, 10	472,3	453,51	451,94 KG/m3
Compresión paralela		19	472,16	453,37	
		20	472,32	453,53	
		21	473,72	454,87	
Tracción perpendicular		13	468,86	450,20	
		14	469,69	451,00	
		15	461,88	443,50	
Corte paralelo		7	472,05	453,27	
		8	471,92	453,14	
		9	471,8	453,03	

Tabla 3,2 Densidad básica promedio de los especímenes empleados en los ensayos normalizados de tensión corte y compresión

Ensayo	Espécimen	Probeta	Densidad calculada	Densidad corregida	Densidad básica promedio del espécimen
Tensión paralela	7	5, 6	453,5	435,45	435,18 KG/m3
Compresión paralela		13	453,23	435,20	
		14	453,21	435,18	
		15	453,04	435,01	
Tracción perpendicular		10	446,26	428,50	
		11	453,27	435,23	
		12	448,17	430,34	
Corte paralelo		1	457,3	439,10	
		5	457,69	439,48	
		6	456,46	438,30	
Tensión paralela	8	1, 2, 3, 4	578,43	555,41	555,07 KG/m3
Compresión paralela		1	580,92	557,80	
		2	578,91	555,87	
		3	578,01	555,01	
Tracción perpendicular		4	578,81	555,78	
		5	578,97	555,93	
		6	577,24	554,27	
Corte paralelo		2	577,03	554,07	
		3	575,92	553,00	
		4	576,44	553,50	



Gráfica 1, Densidad básica promedio calculada de los especímenes de la fuente

La densidad ofrece un primer parámetro para caracterizar la madera de la fuente, considerando que los especímenes más livianos, tienen propiedades mecánicas inferiores frente a los de mayor peso; En la **Identificación de los especímenes** se definieron tres grupos de materiales respecto a sus características visuales y su densidad así:

Grupo 1:

Color amarillo muy claro y café muy claro con tendencia a blanco, los anillos de crecimiento son muy gruesos y muy radiales así como la transición de estos con alto contenido de lignina la cual es fácilmente identificable.

La densidad de este grupo de maderas es la menor de las tres y esto puede deberse a que fue extraída de la zona central del árbol donde la madera es inmadura respecto al duramen de las zonas externas, con valores que oscilan entre 385 y 435 Kg/m³.

Fotografía 37



Grupo 2:

Color amarillo pálido y fuerte, sus anillos son bastante marcados pero no tan gruesos y de mayor cantidad que el grupo No 1, en algunos casos, se evidencia un cambio de color del fuerte a muy claro en el sentido de crecimiento, seguramente son cortes realizados en las cercanías de la Albura con inclusión de esta en el acerrado.

De los tres grupos, la densidad de este grupo es la intermedia, con valores entre 450 y 500 Kg/m³.

Fotografía 38



Grupo 3:

Color amarillo pálido muy fuerte con tendencia rojiza, los anillos de crecimiento son muy abundantes y de unos pocos milímetros de espesor y se nota la presencia de lignina en capas muy delgadas

En este grupo probablemente se pueda identificar un corte del árbol donde la madurez de la madera sea avanzada, la densidad es superior a 500 Kg/m^3 hasta 555 Kg/m^3 , siendo la mayor encontrada en los especímenes estudiados.

Fotografía 39



Tabla 3,3 Clasificación de los especímenes según densidad y características visuales

Especimen	Densidad básica	Densidad básica promedio	Grupo de clasificación
14	385,90 Kg/m ³	400,54 Kg/m ³	1
17	388,48 Kg/m ³		
11	392,61 Kg/m ³		
7	435,18 Kg/m ³		
15	451,70 Kg/m ³	463,97 Kg/m ³	2
6	451,94 Kg/m ³		
1	453,03 Kg/m ³		
20	453,63 Kg/m ³		
5	453,81 Kg/m ³		
19	461,06 Kg/m ³		
18	465,62 Kg/m ³		
2	487,50 Kg/m ³		
13	497,40 Kg/m ³		
22	501,92 Kg/m ³		
12	508,86 Kg/m ³	526,26 Kg/m ³	3
4	521,16 Kg/m ³		
10	528,28 Kg/m ³		
9	532,74 Kg/m ³		
16	535,78 Kg/m ³		
8	555,07 Kg/m ³		

Fácilmente podemos evidenciar que la diferencia de la densidad del grupo 1 respecto al grupo 2 es de un 13.67% y con el grupo 3 es de 23.89%; en términos de costos de adquisición y maquinado del material, esta diferencia también se nota ya que al adquirir uno de estos perfiles, se debe pesar y pagar el costo por kilogramo multiplicado por el peso total.

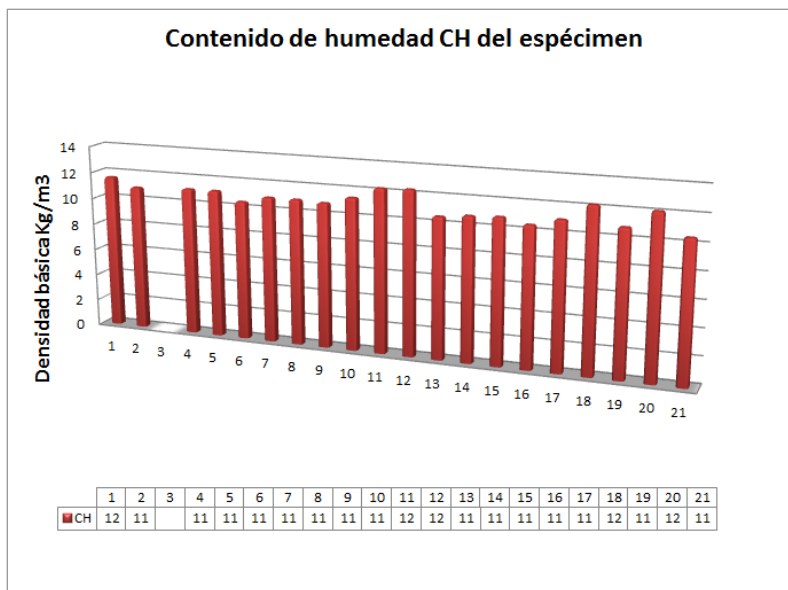
Seguramente comparado con el grupo 1, es más costoso fabricar un mueble con madera del grupo 3 debido a la cantidad de mano de obra, costo del material y desgaste de la herramienta; así mismo, debe resultar más costoso comparado con el grupo 3, el construir una estructura con materiales del grupo 1 ya que sería necesario instalar más cantidad de perfiles, por lo tanto se requiere de mayor número de conexiones y mayor tiempo de mano de obra.

5.2.CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS ESPECIMENES Y CORRECCION POR HUMEDAD

Las mismas porciones de probetas y las probetas que fueron usadas para determinar la densidad de los especímenes, sirvieron de probeta para determinar el contenido de humedad presente en los especímenes y sus probetas extraídas; estas porciones o probetas una vez ensayadas, se pesaron en una balanza electrónica suministrada por el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia y luego se secaron en horno en el laboratorio de materiales a una temperatura promedio de 110 °C por un tiempo superior a 24 horas; este tiempo llegó a superar incluso las 36 horas en algunos especímenes, en especial los de mayor densidad básica hasta que llegaron a registrarse pesos constantes en la medición.

La tabla No 4 nos muestra los resultados del contenido de humedad detectado para cada probeta

y espécimen estudiado y se presenta el resumen en la gráfica No 2.



Gráfica 2, Densidad básica promedio calculada de los especímenes de la fuente

Tabla 4,1 Contenido de humedad detectada en los especímenes empleados en los ensayos normalizados de Flexión y compresión perpendicular

Ensayo	Espécimen	Probeta	Contenido de humedad detectado	Contenido de humedad promedio adoptado
Flexión en probetas	9	1 2	10,76 11,05	10,91 %
Flexión en probetas	10	3 4	11,32 11,84	11,46 %
Compresión perpendicular		22 23 24	11,33 11,5 11,32	
Flexión en probetas		5 6	12,24 12,58	
Compresión perpendicular	11	7 8 9	12,26 12,13 12,35	12,31 %
Flexión en probetas	12	7 8	12,81 10,48	12,38 %
Compresión perpendicular		25 26 27	12,95 12,88 12,79	
Flexión en probetas		9 10	10,66 10,52	
Compresión perpendicular	13	16 17 18	10,7 10,72 10,53	10,59 %
Flexión en probetas	14	11 12	10,58 11,63	10,81 %
Compresión perpendicular		1 2 3	10,66 10,60 10,60	
Flexión en probetas		13 14	10,67 11,91	
Compresión perpendicular	15	13 14 15	10,72 10,53 10,71	10,91 %
Flexión en probetas	16	15 16	9,51 11,52	10,52 %
Flexión en probetas	17	17 18	10,6 11,51	11,06 %
Compresión perpendicular		4 5 6	10,78 10,65 10,66	
Flexión en probetas		19 20	12,31 12,02	
Compresión perpendicular	18	19 20 21	12,35 12,37 12,25	12,26 %
Flexión en probetas	19	21 22	10,06 11,69	10,88 %
Flexión en probetas	20	23 24	12,09 12,13	12,15 %
Compresión perpendicular		10 11 12	12,2 12,13 12,22	
Flexión en probetas		26 27	10,69 10,34	

Tabla 4,2 Contenido de humedad detectada en los especímenes empleados en los ensayos normalizados de Tensión corte y compresión

Ensayo	Espécimen	Probeta	Contenido de humedad detectado	Contenido de humedad promedio adoptado
Tensión paralela	1	23, 24, 25	11,38	11,64 %
Compresión paralela		16	11,78	
		17	11,74	
		18	11,75	
Tracción perpendicular		1	11,80	
		2	11,29	
		3	11,27	
Corte paralelo		19	11,80	
		20	11,80	
		21	11,80	
Tensión paralela	2	19, 20, 21, 22	10,64	10,97 %
Compresión paralela		10	10,60	
		11	10,66	
		12	10,63	
Tracción perpendicular		19	11,84	
		20	11,84	
		21	11,84	
Corte paralelo		16	10,56	
		17	10,56	
		18	10,56	
Tensión paralela	4	15, 16, 17, 18	11,35	11,16 %
Compresión paralela		4	11,15	
		5	11,16	
		6	11,13	
Tracción perpendicular		16	11,15	
		17	11,15	
		18	11,15	
Corte paralelo		13	11,11	
		14	11,11	
		15	11,11	
Tensión paralela	5	11, 12, 13, 14	11,11	11,18 %
Compresión paralela		7	11,07	
		8	11,04	
		9	11,05	
Tracción perpendicular		7	11,13	
		8	11,13	
		9	11,13	
Corte paralelo		10	11,39	
		11	11,39	
		12	11,39	
Tensión paralela	6	7, 8, 9, 10	10,34	10,51 %
Compresión paralela		19	11,37	
		20	10,46	
		21	10,45	
Tracción perpendicular		13	10,26	
		14	10,26	
		15	10,26	
Corte paralelo		7	10,56	
		8	10,56	
		9	10,56	

Tabla 4,2 Contenido de humedad detectada en los especímenes empleados en los ensayos normalizados de Tensión corte y compresión

Ensayos normalizados de tensión corte y compresión				
Ensayo	Espécimen	Probeta	Contenido de humedad detectado	Contenido de humedad promedio adoptado
Tensión paralela	7	5, 6	11,11	10,99 %
Compresión paralela		13	11,04	
		14	11,18	
		15	11,09	
Tracción perpendicular		10	11,05	
		11	11,05	
		12	11,05	
Corte paralelo		1	10,76	
		5	10,76	
		6	10,76	
Tensión paralela	8	1, 2, 3, 4	10,84	11,00 %
Compresión paralela		1	10,89	
		2	10,93	
		3	10,89	
Tracción perpendicular		4	10,98	
		5	10,98	
		6	10,98	
Corte paralelo		2	11,18	
		3	11,18	
		4	11,18	

Como ya se expuso al principio de este documento, el contenido de humedad de la madera es uno de los determinantes que afectan el comportamiento mecánico de nuestros especímenes, razón por la cual, para la etapa de diseño de estructuras a partir de datos de resistencia mecánicas, es necesario determinar un factor de corrección para los valores de esfuerzos y módulo de elasticidad aplicados.

La densidad y el contenido de humedad de la madera es un indicativo de la cantidad de materia sólida y resistente que posee la madera, diversos estudios han determinado que las propiedades mecánicas de la madera disminuyen notablemente a partir del PSF establecido aproximadamente en un 30%; a medida que el CH disminuye, la resistencia de la madera aumenta hasta el punto de equilibrio de humedad o CHE establecido como el 12%; es posible encontrar en nuestros especímenes humedades de hasta el 9% con lo cual podríamos pensar que la resistencia podría aumentar mediante un coeficiente de corrección apropiado sin embargo, maderas como las clasificadas dentro del grupo 1 que suponemos son de madera muy joven y las encontramos con CH inferior al 12%, poseen anillos de crecimiento más gruesos que pueden almacenar mayor cantidad de agua higroscópica cuando están en un ambiente húmedo pero de igual manera, pierden el agua higroscópica con mayor facilidad en un proceso de secado al aire. Por lo tanto este grupo 1 expuesto a un ambiente como el de Bogotá con una humedad relativa media anual del 72% podría fácilmente superar incluso el 19% de CH, con lo cual, contrario a aumentar su resistencia mediante un coeficiente de corrección por humedad, sería necesario aplicar un factor de reducción adicional como el especificado en la NSR-10 Título G.

El código Canadiense de construcciones de madera, expone que para cada tipo de esfuerzo al que

esté sometida la madera, debe calcularse un factor de corrección diferente y no aplicar por ejemplo el mismo factor de corrección a solicitaciones de tensión o compresión o flexión ya que el comportamiento mecánico de las fibras es totalmente diferente en cada caso, adicionalmente, en maderas canadienses de baja resistencia aparentemente un aumento en el contenido de humedad implica un leve incremento en la resistencia, contradiciendo los estudios de varios autores que afirman que sobre el PSF se pierde resistencia con el aumento del CH; la figura No 6 tomada del Código Canadiense de construcciones de Madera, refleja esta característica encontrada en ensayos realizados a maderas canadienses posiblemente similares a las que encontramos en la Fuente. En la gráfica se muestran los datos de resistencia a la flexión en la cual las maderas con valores de resistencia superior pierden capacidad mecánica con el incremento del CH, mientras que las maderas de menor resistencia aumentan su capacidad al incrementar su CH.

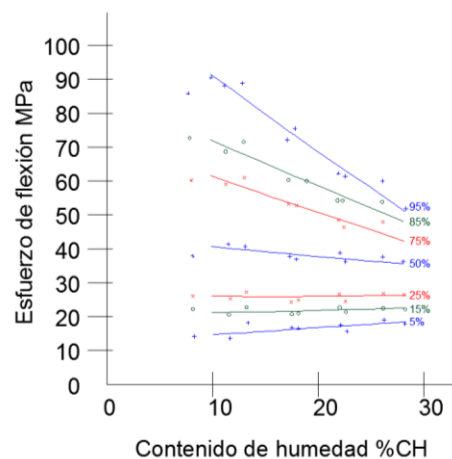


Figura No 6, Variación de la resistencia a la flexión respecto al contenido de humedad para especie Douglas Fir, tomada del Código de construcciones Canadiense

A su vez, la norma europea EN 384 Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad de la madera estructural, nos ofrece ciertos criterios para especímenes probados con contenidos de humedad entre 8% y 18%; los cuales son:

- Para esfuerzos de flexión y tensión no se debe ajustar por contenido de humedad.
- Para esfuerzos de compresión paralela al grano, se puede ajustar un 3% de resistencia por cada 1% de diferencia en el contenido de humedad referido al CHE del 12%.
- Para el módulo de elasticidad, se puede ajustar un 1% por cada 1% de diferencia en el CH con el CHE del 12%.
- Esta corrección aumenta la propiedad si el CH es menor al CHE y disminuye la propiedad mecánica si CH es mayor al CHE.

La recomendación del Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino, numeral 1.6.2, presenta una curva de influencia del contenido de humedad en donde se observa que la madera tiene un comportamiento mecánico lineal cuando el CH está por encima del PSF, y tiene una variación exponencial con la disminución del contenido de humedad por debajo del PSF.

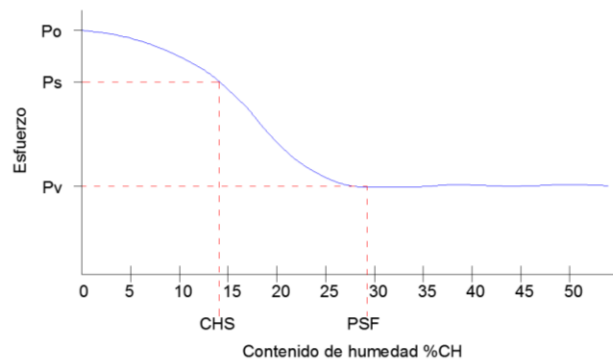


Figura No 7, Influencia del contenido de humedad, tomada del Manual de Diseño para Madera del Grupo Andino

Esta curva fue idealizada como

$$P = P_s \left(\frac{P_s}{P_v} \right)^{-K}$$

El exponente K es un factor que depende de la relación del contenido de humedad de la muestra, el CHE y PSF:

$$K = \frac{CH - CHS}{PSF - CHS}$$

Donde :

P	Valor de la propiedad a un CH dado
P_s	Valor de la propiedad a un CHS conocido
P_v	Valor de la propiedad en estado verde
CH	Contenido de humedad
CHS	Contenido de humedad en estado seco
PSF	Punto de saturación de las fibras

Estas ecuaciones del Manual de diseño pueden ser empleadas para calcular el factor de corrección por humedad pero se hacen las siguientes consideraciones en torno a nuestros especímenes debido a que existen valores que no se conocen como son el punto de saturación de la fibra y el valor de la magnitud en estado verde:

- El contenido de humedad de equilibrio para la ciudad de Bogotá está definido en la NSR-10 como 16% apéndice G-D, sin embargo, el contenido de humedad encontrado en los especímenes de la fuente está dentro de un rango entre 9% y 13%; ahora bien, teniendo en cuenta que los especímenes se adquirieron, se almacenaron, se maquinaron y se ensayaron en un periodo de un año, podemos afirmar que el contenido de humedad de los especímenes durante un año no superó el 13% ni decreció por debajo del 9%; si efectuamos el cálculo del factor de corrección para un

CH de equilibrio del 16%, seguramente obtendríamos valores de resistencia mecánica muy superiores a los reales, por tal razón, resulta un poco conservador realizar el cálculo con un ECH del 12% como lo recomienda el Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino.

- El punto de saturación de la fibra se evalúa cuando la madera secada al aire ha perdido toda el agua libre y comienza a perder el agua higroscópica, por lo cual es imposible invertir el proceso y humedecer el espécimen para evaluar su punto de saturación ya que algunos conductos seguramente deben estar cerrados y algunos otros fueron abiertos debido a uso y este procedimiento llevaría a centenares de datos diferentes del PSF; por esta razón, se debería asumir un contenido de humedad de PSF como el 30%.
- EL valor de la propiedad en estado verde Pv, al igual que el PSF, no es posible medirlo, por lo tanto apoyados en la gráfica del influencia del contenido de humedad (Figura No7), y asumiendo que la propiedad mecánica es casi lineal respecto al aumento de CH por encima del PSF, podemos decir que la propiedad en estado verde, puede ser muy similar a la propiedad en el punto de saturación de la fibra.

Sin embargo, al igual que determinar el PSF, esta última condición no es posible medirla, por lo tanto, tendríamos que realizar cientos de pruebas con diferentes contenidos de humedad por encima del 30% con el fin de detectar cuál puede ser el valor de la propiedad mecánica que es más característico y definirlo como la magnitud de la propiedad en estado verde.

Finalmente, la NSR-10 en su título G, presenta una tabla de coeficientes de reducción por contenido de humedad, estos coeficientes se aplican a la madera pero en etapa de diseño, junto con otros factores de corrección que se relacionan a la duración de cargas, forma del espécimen, etc, esta tabla se reproduce en la figura No 8.

Tabla G 2.2-4
Condiciones a considerar para la escogencia de Módulos de Esfuerzos Admisibles y de Elasticidad

Durante la construcción	En servicio	Esfuerzos admisibles	Módulos de elasticidad
CH $c > 19\%$	CH $s > 19\%$	CH $> 19\%$	CH $> 19\%$
* CH $c > 19\%$	* CH $s \leq 12\%$	* CH $= 12\%$	* CH $= 12\%$
CH $c \leq 12\%$	CH $s \leq 12\%$	CH $= 12\%$	CH $= 12\%$
CH $c \leq 12\%$	CH $s > 19\%$	CH $> 19\%$	CH $= 12\%$

* Solo si:

a) Espesor de la Madera no excede de 50 mm.

b) La carga total de diseño se aplique cuando CH $< 12\%$ y las cargas no origine esfuerzos efectivos mayores a los admisibles en condición verde

Figura No 8, Factor de corrección por contenido de humedad - NSR-10
Tomada de la Norma Sismo Resistente – 2010

Para el objetivo de nuestra investigación de los materiales de la Fuente, al calcular un factor de corrección respecto al contenido de humedad de equilibrio se debe tener en cuenta dos aspectos muy importantes de las condiciones de nuestros especímenes:

- Las mediciones se realizaron sobre especímenes ya curados, con tratamientos biológicos, con un cierto nivel de pre esfuerzo o esfuerzo residual producto de su función anterior y con afectación por punzonado y extracción de clavos y otros defectos propios o causados.
- Los factores de corrección establecidos en las normas, están direccionados a mayorar o reducir magnitudes de propiedades mecánicas previamente establecidas para aplicarlas en el diseño de estructuras, mientras que nuestra investigación está direccionada a encontrar estos valores característicos de las propiedades mecánicas medidos directamente de los especímenes disponibles.

Junto con el factor de corrección por humedad, existen otros factores de corrección relacionados con las condiciones geométricas, la duración e intensidad de la carga aplicada, la temperatura ambiental y la posición del perfil sobre los apoyos; estos factores de corrección al igual que el debido al contenido de humedad, son definidos una vez se determinen los valores característicos de las propiedades mecánicas de nuestros especímenes.

En las tablas No 4 y en la gráfica No 2, se puede diferenciar un promedio general del contenido de humedad identificado en los especímenes.

Incluyendo todos los especímenes, este promedio equivale al 11.25% de CH; sin embargo, los especímenes 11, 12, 18 y 20, presentaron CH muy por encima del CH modal de toda la muestra, entonces si descartamos estos especímenes, el promedio de CH baja al 10.94% de CH, lo cual configura un contenido de humedad de equilibrio para los especímenes estudiados, en razón del periodo de tiempo transcurrido entre su adquisición y su medición del contenido de humedad.

5.3.DEFINICIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN

Si definimos que para nuestra muestra, el contenido de humedad de equilibrio es el porcentaje 10.94%, entonces basados en los parámetros conceptuales de la norma europea En-384, efectuamos una corrección por contenido de humedad en los resultados de los ensayos de tensión paralela, compresión paralela y flexión, en los demás resultados, no se efectúa corrección.

Una vez definido el contenido experimental de humedad de equilibrio CHE, determinamos el factor de corrección mediante la ecuación exponencial del Manual de Diseño del Grupo Andino y para esto tenemos en cuenta las siguientes consideraciones:

- Contenido experimental de humedad de equilibrio 10.94% - CHE
- Contenido de humedad en estado seco se asume igual al CHE
- Punto de saturación de las fibras PSF se considera como el 24%
- El valor de la propiedad en estado verde se fija en el 60% de la propiedad en estado seco soportado en la gráfica de variación del Código Canadiense

Estas consideraciones se realizan con base en las recomendaciones de las normas antes mencionadas.

Aplicando estas consideraciones a la ecuación exponencial del Manual de diseño del grupo andino, tenemos que la expresión que define el factor de corrección para los ensayos de flexión, compresión paralela y tensión paralela está dada por:

$$P = P_s (1.53846 P_s)^{-K}$$

$$K = \frac{CH - 10.94}{19.06}$$

Como se dijo anteriormente, para los ensayos de corte perpendicular, tensión perpendicular y compresión perpendicular, no se tuvo en cuenta la corrección por contenido de humedad.

Este factor de corrección se aplicó de manera tal que para contenido de humedad del espécimen por encima del 10.94%, su resistencia se ve disminuida por este factor mientras que para contenidos de humedad por debajo del 10.94%, se ajusta la resistencia empleando el coeficiente de corrección como un factor de mayoración.

5.4.DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECANICAS CON BASE EN LOS DATOS EXPERIMENTALES

Ya obtenidos los datos experimentales de los ensayos realizados a las probetas de los especímenes de madera, procedemos a buscar un valor característico para cada grupo establecido y para el conjunto total de especímenes de la fuente mediante la aplicación de criterios estadísticos que nos brinden información confiable de los esfuerzos de diseño que pueda ser empleada en el cálculo de estructuras con estos materiales reciclados.

Para la estimación de las propiedades mecánicas de los especímenes de la Fuente, empleamos los parámetros estadísticos de la norma ASTM-2555-06, los cuales detallamos de manera resumida a continuación:

La norma ASTM – 2555 proporciona dos métodos para la estimación de las propiedades mecánicas de la madera; estos métodos han sido denominados “Método A y Método B”:

- Método A:**
- 1) Estudio de la densidad poblacional de la madera
 - 2) Determinación de áreas geográficas de crecimiento de la madera
 - 3) Determinación de la gravedad específica de cada área establecida
 - 4) Estimación de las relaciones esfuerzo – Gravedad específica
 - 5) Estimación de las propiedades mecánicas promedio de cada área mediante el uso de las relaciones esfuerzo – Gravedad específica
 - 6) Establecer las propiedades mecánicas promedio del grupo básico de la madera

- Método B:**
- Con base en tablas de valores conocidos por experimentación de muchos especímenes y recolección de datos de ensayos realizados, se determinan las propiedades mecánicas de los especímenes clasificados; este método B funciona muy bien para las especies de madera propias de los Estados

Unidos de Norte América y para las especies de madera de Canadá, pero no para caracterizar la madera por ejemplo de nuestro país, ya que las especies tabuladas no corresponden a las especies de madera que se cultivan en el país, tampoco funciona bien para las especies que no son endémicas y que han sido cultivadas en las regiones de Colombia ya que las condiciones climáticas y medioambientales de nuestro país son diferentes a las estaciones climáticas de los países del norte, por lo tanto esta diferencia de procesos de siembra y crecimiento generan variaciones en las propiedades mecánicas que no son aplicables a las tablas del método B de la ASTM-2555.

Como lo pudimos establecer al principio de este documento, los especímenes de la Fuente provienen de la región norte del continente, siendo la especie Pino Radiata o Pino Canadiense, pero nuestros especímenes ya han tenido un proceso de talado, tratamiento biológico y uso previo a la disposición dentro de una estructura portante que implica ciertos cambios en las propiedades básicas como son el módulo de elasticidad, el módulo de rotura, el contenido de humedad, la densidad natural, etc., por lo tanto para la caracterización mecánica que buscamos, el Método B no es aplicable y debemos recurrir al Método A con el fin de caracterizar la madera mediante la colección de datos experimentales procesados por métodos estadísticos.

5.4.1. Descripción del Método A empleado

Del método A del ASTM – 2555, los dos primeros pasos los vamos a saltar debido a que nuestros especímenes de la Fuente, no pueden ubicarse dentro de un área geográfica ni separarse en subdivisiones; sin embargo, con el cálculo de la densidad básica realizada en el título XX, ya se separaron los especímenes en tres grupos dada su densidad y sus cualidades estéticas.

Paso 3, determinación de la gravedad específica.

Para nuestro objetivo, la gravedad específica la hemos tomado como la densidad básica ya determinada en el título XX y esta se realizó con base en lo establecido en la ASTM 2555, donde la Densidad es el valor promedio de los valores de densidad de cada uno de los especímenes de cada grupo.

Paso 4, estimación de las relaciones Propiedad – Gravedad específica

Teniendo la colección de datos experimentales de esfuerzos y de la densidad, mediante el empleo de regresiones estadísticas se determinan ecuaciones que relacionan una propiedad mecánica determinada con la densidad básica del espécimen.

Así mismo, mediante distribuciones de datos estadísticos, se encontró para nuestras series de datos, el valor probable de cada propiedad con un nivel de confianza del 95% o lo que es igual, correspondiente al percentil 5% como se establece en las normas internacionales y en las normas NSR-10 y Manual de diseño de maderas del grupo Andino vigentes en nuestro país.

Paso 5, Establecer las propiedades promedio de la Fuente

Se establecieron las propiedades promedio para el conjunto de especímenes de la fuente, para esto empleamos métodos estadísticos como son el Valor atípico mediante el criterio de Chauvenet y la función de Student para calcular el percentil 5% de cada propiedad.

Paso 6, Estimación de las propiedades promedio de cada grupo

Como se establecieron tres grupos dentro de la fuente, mediante el empleo de las ecuaciones estimadas de propiedad – densidad, se calculan los valores de cada propiedad para cada uno de los tres grupos.

los especímenes ya que está por debajo del promedio de resistencia de los grupos 2 y 3 y se estaría desperdiciando el potencial estructural de estos dos grupos.

5.4.2. Primer corrección por humedad

Según se determinó anteriormente, la humedad de equilibrio aparente de nuestros especímenes de la Fuente es de 10.94% y todos los valores de las propiedades mecánicas fueron corregidas mediante las ecuaciones de corrección:

$$P = P_s (1.53846 P_s)^{-K}$$

$$K = \frac{CH - 10.94}{19.06}$$

Una vez los valores de las propiedades mecánicas fueron ajustados a un contenido de humedad del 10.94%, se procedió al análisis estadístico de los datos.

5.4.3. Criterio de Chauvenet

En estadística, este criterio se emplea para determinar si un valor experimental que está lejos de la distribución normal es probable que sea un valor atípico y por lo tanto se deba descartar.

Para esto es necesario calcular la media y la desviación estándar de la dispersión de datos experimentales y conocer la probabilidad de ocurrencia del dato atípico.

El criterio de Chauvenet define que un dato atípico se debe descartar si su probabilidad de aparición es inferior a $\alpha = 1/2n$ siendo n el número de datos disponibles; de manera simplificada, se define un límite inferior y un límite superior respecto a la media y a la desviación estándar de la muestra, los datos que estén por fuera de estos límites, deben ser descartados así:

$$\bar{Y} - K_n S < Y_i < \bar{Y} + K_n S$$

Dónde:

Y_i es el dato presuntamente atípico

\bar{Y} es la media del conjunto de valores

K_n es el coeficiente de Chauvenet

S es la desviación estándar de la muestra

La media del conjunto de valores está definida como el promedio aritmético del conjunto de valores:

$$\bar{Y} = \sum_{i=1}^n Y_i$$

Donde n es el número de datos

La desviación estándar de la muestra está dada por:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

El coeficiente de Chauvenet es función de la cantidad de valores que tenga la muestra y su exactitud incrementa con el incremento de la cantidad de valores disponibles, por lo tanto es poco recomendable para muestras pequeñas menores a 10 datos.

Una vez se descarten los datos, se debe recalcular la media, la desviación estándar y aplicar nuevamente el criterio de Chauvenet hasta que todos los datos estén dentro de los límites definidos.

A continuación, se muestran los valores del coeficiente de Chauvenet que corresponden a una distribución normal estadística; estos valores pueden ser interpolados de manera lineal para obtener los coeficientes de cantidades de datos diferentes a los tabulados:

n	α	$1-\alpha/2$	K(n)	n	α	$1-\alpha/2$	K(n)
2	0,2500	0,8750	1,15	55	0,0091	0,9955	2,61
3	0,1667	0,9167	1,38	56	0,0089	0,9955	2,615
4	0,1250	0,9375	1,54	57	0,0088	0,9956	2,62
5	0,1000	0,9500	1,65	58	0,0086	0,9957	2,63
6	0,0833	0,9583	1,73	59	0,0085	0,9958	2,635
7	0,0714	0,9643	1,8	60	0,0083	0,9958	2,64
8	0,0625	0,9688	1,86	70	0,0071	0,9964	2,69
9	0,0556	0,9722	1,92	80	0,0063	0,9969	2,74
10	0,0500	0,9750	1,96	90	0,0056	0,9972	2,77
20	0,0250	0,9875	2,24	100	0,0050	0,9975	2,81
30	0,0167	0,9917	2,4	300	0,0017	0,9992	3,14
40	0,0125	0,9938	2,48	500	0,0010	0,9995	3,29
50	0,0100	0,9950	2,57	1000	0,0005	0,9998	3,48

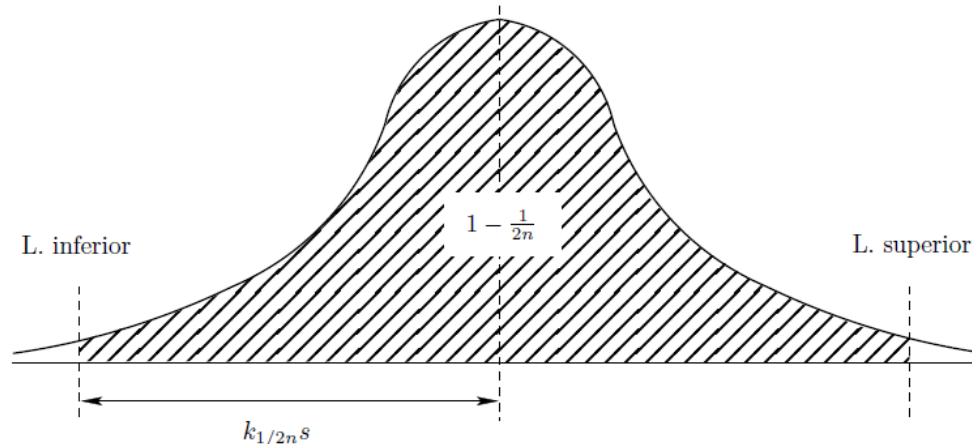


Tabla 5.0, calculo del coeficiente de Chauvenet a partir de la distribución normal estadística

5.4.4. Intervalos de confianza

La norma NSR-10 y el Código de Diseño de Maderas del Grupo Andino, establecen que el valor de la propiedad mecánica buscada debe estar dentro de un rango de probabilidad de ocurrencia del 95%.

Para nuestras muestras de tamaño n , la probabilidad de que la media de los datos ya corregidos se encuentre en el intervalo $\bar{Y} \pm t \frac{S}{\sqrt{n}}$ es:

$$p\left(\bar{Y} - t \frac{S}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{Y} + t \frac{S}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

Donde t es el coeficiente de la distribución de Student y S es la desviación estandar de la muestra.

Para nuestro caso, $1 - \alpha = 95\%$ denominado nivel de confianza que nos dice que la probabilidad de que la media muestral sea S es del 95%.

Para este análisis estadístico empleamos la distribución de t-Student ya que es especial para el análisis de muestras pequeñas como lo son nuestros datos de esfuerzos obtenidos de los especímenes de la fuente; la tabla de datos de la distribución estadística de t-Student se muestra en el anexo No 8.

5.5. ENSAYO DE FLEXION EN PROBETAS – ESFUERZO AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD, ESFUERZO ULTIMO Y MODULO DE ELASTICIDAD

Este ensayo se realizó sobre 26 probetas de madera de especímenes de la Fuente, con una longitud aproximada de 80 cm; las probetas se cortaron de los perfiles adquiridos sin realizar ningún tipo de modificación a la sección transversal original; el único tratamiento que se realizó fue la extracción de los clavos y otros insertos para evitar accidentes en el momento de la falla si esta fuere explosiva.

El ensayo de flexión normalizado por la norma NTC 663 indica que la probeta debe tener las siguientes dimensiones:

Ancho:	Entre 20 y 50 mm
Altura:	Igual al ancho entre 20 mm y 50 mm
Luz entre apoyos:	18 veces el ancho de la sección

Adicionalmente, establece que se debe aplicar una carga P en el centro de la luz con lo cual se obtienen los valores de carga y deformación para hacer los cálculos derivados del ensayo.

Teniendo en cuenta que la madera de la Fuente no se encuentra en estado natural, ni se conocen sus propiedades en estado verde, ni se puede medir con certeza el PSF, que es un material reciclado y otras limitaciones y aspectos adicionales; se optó por elaborar un protocolo de prueba diferente para el ensayo de flexión y para los demás ensayos. Lo anterior con el fin de determinar características del ensayo que provean información experimental que refleje las condiciones actuales del material disponible, incluyendo los defectos naturales y antrópicos que llevan a disminuir las propiedades mecánicas de los materiales.

5.5.1. Protocolo para Ensayo de Flexión en probetas:

1. Equipo:

Máquina universal de ensayos del Laboratorio de estructuras de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Deformímetro calibrado, apoyos metálicos de punta redondeada para la probeta, apoyos redondeados de gran tamaño de madera para aplicación de carga, cámara fotográfica, Formatos para toma de datos.

2. Preparación de las probetas

Las probetas deben ser cortadas de los especímenes de la fuente con una longitud mínima de 80 cm.

Teniendo en cuenta que la longitud máxima encontrada de los perfiles es de 2.50m, las probetas deben extraerse de zonas en las cuales se presenten defectos tales como nudos, desviación del grano y otros que sean de especial relevancia en el estudio del espécimen.

La sección transversal de la probeta no debe ser modificada para que el ensayo refleje la realidad del espécimen en estudio.

Mediante el uso de herramienta manual apropiada, se deben retirar de la probeta los elementos de sujeción como clavos, remaches, grapas y demás insertos, que puedan ser expulsados violentamente en el caso de presentarse fallas explosivas, para evitar accidentes que afecten a las personas o a otros equipos del laboratorio.

Las muestras deben identificarse con etiquetas adhesivas o con marcadores permanentes, registrando el número de espécimen, número de probeta, fecha de ensayo y tipo de ensayo.

3. Montaje del ensayo

Las probetas de aproximadamente 80 cm de longitud, se montarán sobre los apoyos metálicos redondeados separados a una luz estandarizada para todas las probetas, de 760 mm entre los ejes de los apoyos.

Si la sección transversal de la probeta es rectangular, esta se montará apoyada en la cara superior es decir que el peralte de la sección será la dimensión menor.

Sobre la probeta se colocará el apoyo de madera redondeado de gran dimensión en una marca previamente hecha en la probeta que define el centro de la luz.

El embolo de carga debe estar liberado de su pasador con el fin de no transmitir algún tipo de torsión accidental a la probeta; este se moverá lentamente con el fin de que toque el apoyo de madera y se ajuste al montaje sin efectuar carga inicial.

Una vez el embolo este en posición, se instala el deformimetro bajo la probeta en el centro de la luz y se hace el registro de la primer lectura de deformación y de carga, que por lo general esta última debe ser cero.

Los defectos como nudos de gran tamaño y la fibra que sale transversalmente de la cara de la probeta, deben quedar en la zona de tensión, es decir, en la cara inferior de

la probeta montada.

4. Procedimiento de carga

La carga se aplicó de tal manera que se produzca una deformación de 2.5 mm por minuto en el centro de la luz; los datos de carga y deformación se tomaron constantes a intervalos de deformación de .25 mm registrados por el deformímetro; en los casos en que el deformmetro presenta saltos de lectura después del límite de proporcionalidad, los intervalos se toman de 0.50 mm, 0.75 mm, o 1 mm.

5. Registros del ensayo

Identificación de la probeta – Espécimen y numero de probeta

Datos de carga vs deformación

Registro fotográfico

Sección transversal promedio de la probeta	B x A
Longitud entre apoyos	Lb
Longitud total de la probeta	Lt
Longitud de una porción cercana a la zona de falla	Lh
Peso Húmedo de la porción cercana a la zona de falla	Wh
Peso seco de la porción cercana a la zona de falla	Ws

6. Cálculos desarrollados

Obtención del volumen para humedad	$Vol = B \times A \times Lh$
Contenido de humedad de la muestra	$CH = \frac{Wh - Ws}{Ws}$
Densidad húmeda	$\rho_h = \frac{Wh}{Vol}$
Densidad básica	$\rho_b = \frac{\rho_h}{1.04144}$
Momento de inercia de la sección	$I = \frac{1}{12} B \times A^3$
Gráfica carga – deformación	Con los datos experimentales
Carga última	P_u - Extraída de la gráfica
Carga al límite de proporcionalidad	P_y - Extraída de la gráfica
Deformación al límite de proporcionalidad	δ_y - Extraída de la gráfica

$$\text{Esfuerzo último} \quad f_u = \frac{3 \times P_u \times L_b}{2 \times B \times A}$$

$$\text{Esfuerzo al límite de proporcionalidad} \quad f_y = \frac{3 \times P_y \times L_b}{2 \times B \times A}$$

$$\text{Módulo de elasticidad} \quad E = \frac{P_y \times L_b^3}{48 \times \delta_y \times I}$$

El desarrollo del protocolo del ensayo de flexión para cada una de las probetas, se muestra con detalle en el ANEXO No 2 FORMATOS DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A FLEXION – NTC 663

5.5.2. Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad específica

Una vez obtenidos los datos experimentales del esfuerzo último, esfuerzo al límite de proporcionalidad y módulo de elasticidad de cada una de las probetas, procedemos a determinar los valores probables aplicables y las ecuaciones que representan la dispersión de estos tres datos respecto a la densidad de la probeta, para lo cual partimos de los datos resumidos en la tabla No 5.1.

Tabla 5,1 Valores experimentales de FLP, Fu, MOE del ensayo de flexión en probetas

Espécimen	Probeta	Densidad corregida (Kg/m3)	Contenido de humedad (%)	Esfuerzo L. P (Mpa)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Modulo de elasticidad (MPa)
9	1	540,11	10,76	62,69	72,72	13548,82
	2	525,37	11,05	58,93	77,74	12735,89
10	3	584,68	11,32	33,53	81,29	11624,12
	4	548,07	11,84	23,33	82,95	10952,41
11	5	392,25	12,24	37,78	45,08	8173,49
	6	391,8	12,58	23,89	35,1	6086,56
12	7	492,51	12,81	32,14	46,39	10750,85
	8	464,95	10,48	31,41	42,77	10138,02
13	9	493,77	10,66	38,92	61,28	10426,16
	10	501,03	10,52	38,64	59,07	10054,31
14	11	388,83	10,58	15,46	17,94	2703,19
	12	371,88	11,63	24,87	39,05	5413,45
15	13	453,03	10,67	22,98	44,88	6279,13
	14	446,17	11,91	35,16	64,15	9808,11
16	15	536,19	9,51	30,69	56,82	7117,24
	16	535,36	11,52	25,78	49,98	7348,98
17	17	389,93	10,6	22,74	38,04	4883,59
	18	387,02	11,51			
18	19	465,74	12,31	35,23	63,7	9092,43
	20	463,43	12,02	38,16	61,74	8905,43
19	21	462,44	10,06	21,83	50,95	12211,83
	22	459,68	11,69	20,91	52,82	12387,78
20	23	453,58	12,09	31,23	50,54	6238,43
	24	453,82	12,13	32,08	49,68	6660,18
22	26	499,32	10,69	31,45	58,42	8712,72
	27	504,52	10,34	21,16	52,8	8183,36

La tabla 5.1 muestra el resumen de los esfuerzos y módulo de elasticidad hallados experimentalmente; estos datos no están corregidos al contenido de humedad establecidos para nuestros especímenes de la Fuente; para esto, en la tabla 5.2 se muestran los valores del factor de

corrección para cada una de las tres propiedades y en la tabla 5.3, se muestra nuevamente el resumen con los datos corregidos y adicionalmente, se encuentra el grupo de clasificación para cada espécimen; con estos últimos datos, realizamos las gráficas de dispersión de las tres propiedades buscadas que se pueden ver en las gráficas 3, 4 y 5.

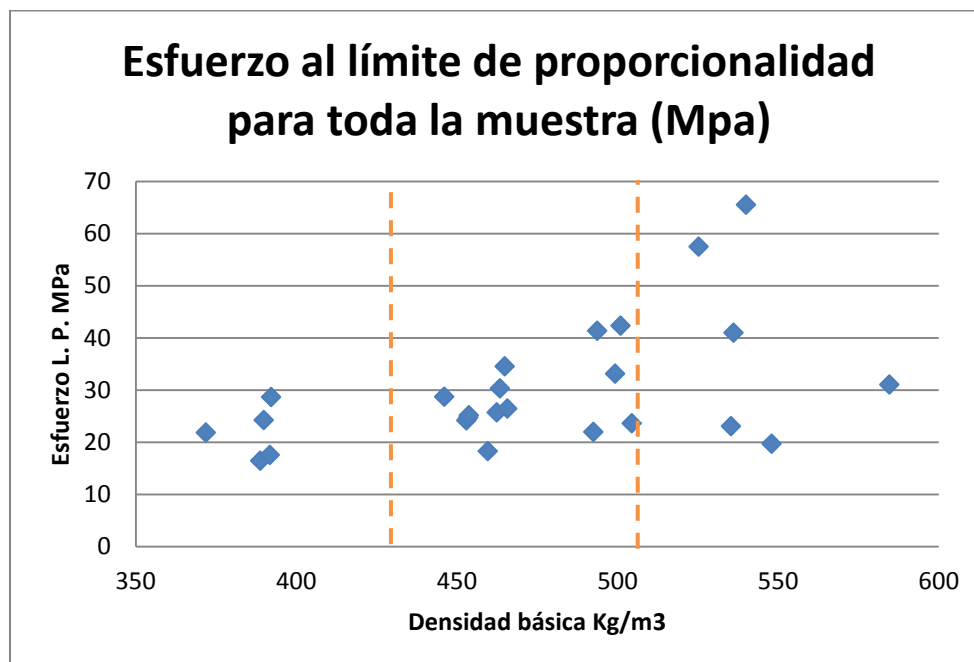
Para el procedimiento de análisis estadístico empleado, “La Muestra” corresponde a la totalidad de las probetas ensayadas a flexión.

Tabla 5,2 Factores de correccion de Flp, Fu y MOE para ensayo de flexión en probetas

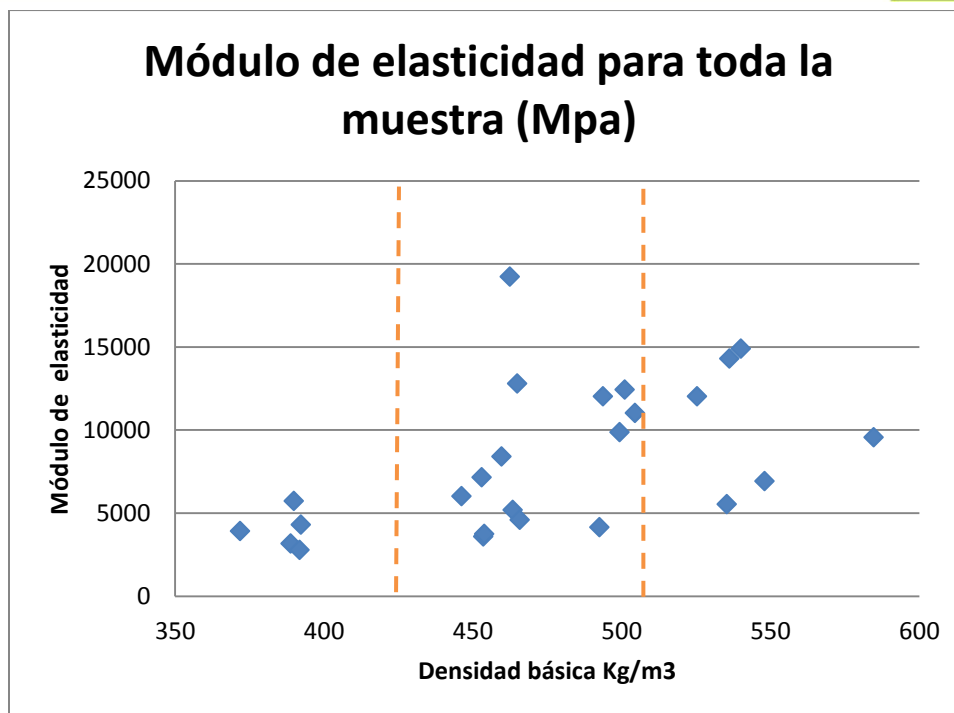
Espécimen	Probeta	Exponente K del factor de corrección	Factor de corrección para Esfuerzo L. P.	Factor de corrección para Esfuerzo de rotura	Factor de corrección para Módulo de elasticidad
9	1	-0,009	1,044	1,046	1,098
	2	0,006	0,974	0,973	0,945
10	3	0,020	0,924	0,908	0,823
	4	0,047	0,844	0,795	0,632
11	5	0,068	0,758	0,749	0,525
	6	0,086	0,733	0,709	0,455
12	7	0,098	0,682	0,658	0,386
	8	-0,024	1,098	1,106	1,262
13	9	-0,015	1,062	1,069	1,153
	10	-0,022	1,094	1,104	1,237
14	11	-0,019	1,062	1,065	1,170
	12	0,036	0,876	0,862	0,721
15	13	-0,014	1,052	1,062	1,139
	14	0,051	0,816	0,792	0,613
16	15	-0,075	1,335	1,399	2,009
	16	0,030	0,894	0,876	0,753
17	17	-0,018	1,065	1,075	1,173
	18	0,030			
18	19	0,072	0,751	0,719	0,504
	20	0,057	0,794	0,773	0,583
19	21	-0,046	1,176	1,223	1,575
	22	0,039	0,872	0,841	0,679
20	23	0,060	0,792	0,769	0,575
	24	0,062	0,784	0,763	0,562
22	26	-0,013	1,052	1,061	1,133
	27	-0,031	1,116	1,148	1,346

Tabla 5,3 Valores corregidos de Flp, Fu, MOE del ensayo de flexión en probetas						
Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Densidad corregida (Kg/m ³)	Esfuerzo L. P (Mpa)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Modulo de elasticidad (MPa)
9	1	3	540,11	65,45	76,03	14882,96
	2	3	525,37	57,42	75,62	12029,80
10	3	3	584,68	30,99	73,83	9562,66
	4	3	548,07	19,70	65,97	6917,24
11	5	1	392,25	28,64	33,76	4293,38
	6	1	391,8	17,52	24,90	2771,10
12	7	3	492,51	21,92	30,52	4145,32
	8	3	464,95	34,49	47,32	12798,21
13	9	2	493,77	41,33	65,51	12019,90
	10	2	501,03	42,28	65,24	12435,68
14	11	1	388,83	16,41	19,10	3163,96
	12	1	371,88	21,80	33,67	3904,31
15	13	2	453,03	24,17	47,65	7150,72
	14	2	446,17	28,70	50,78	6010,70
16	15	3	536,19	40,98	79,46	14301,20
	16	3	535,36	23,05	43,79	5532,02
17	17	1	389,93	24,23	40,90	5726,35
	18	1	387,02	0,00	0,00	0,00
18	19	2	465,74	26,44	45,82	4578,14
	20	2	463,43	30,30	47,70	5191,04
19	21	2	462,44	25,68	62,32	19235,57
	22	2	459,68	18,24	44,43	8405,72
20	23	2	453,58	24,72	38,86	3587,64
	24	2	453,82	25,15	37,90	3741,87
22	26	3	499,32	33,09	61,97	9869,35
	27	3	504,52	23,61	60,64	11015,35

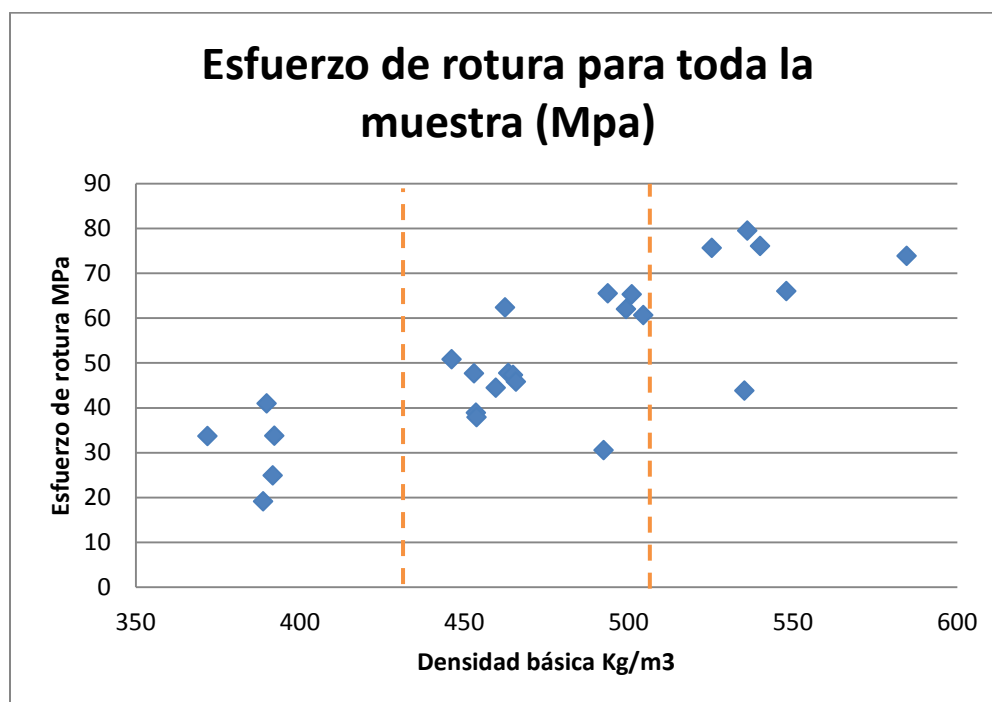
Las gráficas 3, 4, 5 representan la dispersión de datos para las tres propiedades:



Gráfica No 3, Dispersión de datos para el esfuerzo al límite de proporcionalidad



Gráfica No 4, Dispersión de datos para el módulo de elasticidad



Gráfica No 5, Dispersión de datos para el esfuerzo de rotura

Como se aprecia en las gráficas de dispersión, hay unos valores que se salen de la agrupación de

puntos o que no siguen un patrón gráfico similar al grupo de puntos; por lo tanto, a esta colección de datos hay que aplicarle el criterio de Chauvenet para descartar los valores que posiblemente indiquen errores de ejecución de ensayos o que no muestren la realidad de la pieza ensayada.

A partir de los datos de la tabla 5.3 de valores corregidos por humedad, realizamos la corrección estadística de los datos; para esto, adicionalmente realizamos la división de los datos en dos subgrupos para contemplar las variaciones que hay en los especímenes de la fuente.

Los dos subgrupos son los siguientes:

Sub grupo 1: los especímenes del grupo de clasificación 1

Sub grupo 2: los especímenes de los grupos de clasificación 2 y 3

En las tablas 5.4, se muestran los valores que resultaron de la aplicación del criterio de Chauvenet para descartar valores estadísticamente atípicos en los datos del subgrupo 1; para el esfuerzo de fluencia y Esfuerzo de rotura, no se descartó ningún valor, mientras que para el módulo de elasticidad se descartó un valor, por lo cual se re calcularon los parámetros estadísticos y se aplicó nuevamente el criterio de Chauvenet:

Tabla 5.4.1 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo al límite de proporcionalidad para el grupo de clasificación No 1 - sub grupo 1

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Esfuerzo L. P (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
11	5	1	28,64	6,92	47,85	Aceptado
	6	1	17,52	-4,20	17,63	Aceptado
14	11	1	16,41	-5,31	28,15	Aceptado
	12	1	21,80	0,08	0,01	Aceptado
17	17	1	24,23	2,51	6,30	Aceptado
	18	1	0,00	0,00	0,00	

Número de datos	5
Media de la dispersión	21,72

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	99,94
S	4,47

Criterio de probabilidad α	0,100
Coefficiente de corrección Kn	1,650

Límite inferior de corrección	14,342
Límite superior de corrección	29,10

Tabla 5.4.2 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo de rotura para el grupo de clasificación No 1 - sub grupo 1

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Esfuerzo de rotura (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
11	5	1	33,76	3,29	10,85	Aceptado
	6	1	24,90	-5,56	30,97	Aceptado
14	11	1	19,10	-11,37	129,21	Aceptado
	12	1	33,67	3,20	10,25	Aceptado
17	17	1	40,90	10,44	108,93	Aceptado
	18	1	0,00	-30,47	0,00	

Número de datos	5
Media de la dispersión	30,47

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	290,20
S	7,62

Criterio de probabilidad α	0,100
Coefficiente de corrección Kn	1,650

Límite inferior de corrección	17,897
Límite superior de corrección	43,04

Tabla 5.4.3 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del módulo de elasticidad para el grupo de clasificación No 1 - sub grupo 1

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Módulo de elasticidad (MPa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
11	5	1	4293,38	321,56	103399,81	Aceptado
	6	1	2771,10	-1200,72	1441731,54	Aceptado
14	11	1	3163,96	-807,86	652637,68	Aceptado
	12	1	3904,31	-67,51	4557,40	Aceptado
17	17	1	5726,35	1754,53	3078380,21	Descartar
	18	1	0,00	0,00	0,00	

Número de datos	5
Media de la dispersión	3971,82

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	5280706,64
S	1027,69

Criterio de probabilidad α	0,100
Coefficiente de corrección Kn	1,650

Límite inferior de corrección	2276,133
Límite superior de corrección	5667,50

Tabla 5.4.4 Segunda aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del módulo de elasticidad para el grupo de clasificación No 1 - sub grupo 1

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Módulo de elasticidad (MPa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
11	5	1	4293,38	760,19	577890,73	Aceptado
	6	1	2771,10	-762,09	580778,77	Aceptado
14	11	1	3163,96	-369,23	136328,65	Aceptado
	12	1	3904,31	371,12	137733,23	Aceptado

Número de datos	4
Media de la dispersión	3533,18

$\sum (Y_i - \bar{Y})^2$	1432731,38
S	598,48

Criterio de probabilidad α	0,125
Coefficiente de corrección K_n	1,540

Límite inferior de corrección	2611,519
Límite superior de corrección	4454,85

De igual manera, aplicamos el procedimiento para los tres valores del sub grupo 2 con los siguientes hallazgos plasmados en las tablas 5.4.5 a 5.4.8:

Tabla 5.4.5 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo al límite de proporcionalidad para los grupos de clasificación No 2 y 3 - sub grupo 2

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Esfuerzo L. P (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	65,45	33,57	1126,83	Descartar
	2	3	57,42	25,53	651,83	Aceptado
10	3	3	30,99	-0,89	0,79	Aceptado
	4	3	19,70	-12,18	148,47	Aceptado
12	7	3	21,92	-9,97	99,33	Aceptado
	8	3	34,49	2,61	6,79	Aceptado
16	15	3	40,98	9,10	82,75	Aceptado
	16	3	23,05	-8,84	78,10	Aceptado
13	9	2	41,33	9,45	89,22	Aceptado
	10	2	42,28	10,39	108,03	Aceptado
15	13	2	24,17	-7,72	59,53	Aceptado
	14	2	28,70	-3,19	10,16	Aceptado
18	19	2	26,44	-5,44	29,65	Aceptado
	20	2	30,30	-1,59	2,53	Aceptado
19	21	2	25,68	-6,21	38,57	Aceptado
	22	2	18,24	-13,65	186,20	Aceptado
20	23	2	24,72	-7,16	51,30	Aceptado
	24	2	25,15	-6,74	45,39	Aceptado
22	26	3	33,09	1,21	1,45	Aceptado
	27	3	23,61	-8,27	68,46	Aceptado

Número de datos	20
Media de la dispersión	31,89

$\sum (Y_i - \bar{Y})^2$	2885,38
S	12,01

Criterio de probabilidad α	0,025
Coefficiente de corrección K_n	2,240

Límite inferior de corrección	4,981
Límite superior de corrección	58,79

Tabla 5.4.6 Segunda Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo al limite de proporcionalidad para los grupos de clasificación No 2 y 3 - sub grupo 2

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Esfuerzo L. P (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	57,42	27,30	745,17	Descartar
10	3	3	30,99	0,88	0,77	Aceptado
	4	3	19,70	-10,42	108,54	Aceptado
12	7	3	21,92	-8,20	67,23	Aceptado
	8	3	34,49	4,37	19,12	Aceptado
16	15	3	40,98	10,86	118,01	Aceptado
	16	3	23,05	-7,07	49,99	Aceptado
13	9	2	41,33	11,21	125,72	Aceptado
	10	2	42,28	12,16	147,88	Aceptado
15	13	2	24,17	-5,95	35,39	Aceptado
	14	2	28,70	-1,42	2,02	Aceptado
18	19	2	26,44	-3,68	13,53	Aceptado
	20	2	30,30	0,18	0,03	Aceptado
19	21	2	25,68	-4,44	19,75	Aceptado
	22	2	18,24	-11,88	141,10	Aceptado
20	23	2	24,72	-5,40	29,11	Aceptado
	24	2	25,15	-4,97	24,71	Aceptado
22	26	3	33,09	2,97	8,84	Aceptado
	27	3	23,61	-6,51	42,34	Aceptado

Número de datos	19
Media de la dispersión	30,12

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	1699,24
S	9,46

Criterio de probabilidad α	0,026
Coefficiente de corrección Kn	2,212

Limite inferior de corrección	9,200
Limite superior de corrección	51,04

Tabla 5.4.7 Tercer Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo al limite de proporcionalidad para los grupos de clasificación No 2 y 3 - sub grupo 2

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Esfuerzo L. P (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
10	3	3	30,99	2,39	5,72	Aceptado
	4	3	19,70	-8,90	79,24	Aceptado
12	7	3	21,92	-6,68	44,66	Aceptado
	8	3	34,49	5,89	34,68	Aceptado
16	15	3	40,98	12,38	153,26	Aceptado
	16	3	23,05	-5,55	30,85	Aceptado
13	9	2	41,33	12,73	162,03	Aceptado
	10	2	42,28	13,68	187,06	Aceptado
15	13	2	24,17	-4,43	19,64	Aceptado
	14	2	28,70	0,10	0,01	Aceptado
18	19	2	26,44	-2,16	4,67	Aceptado
	20	2	30,30	1,69	2,87	Aceptado
19	21	2	25,68	-2,93	8,57	Aceptado
	22	2	18,24	-10,36	107,37	Aceptado
20	23	2	24,72	-3,88	15,05	Aceptado
	24	2	25,15	-3,45	11,93	Aceptado
22	26	3	33,09	4,49	20,15	Aceptado
	27	3	23,61	-4,99	24,91	Aceptado

Número de datos	18
Media de la dispersión	28,60

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	912,67
S	7,12

Criterio de probabilidad α	0,028
Coefficiente de corrección Kn	2,184

Limite inferior de corrección	13,051
Limite superior de corrección	44,15

Tabla 5.4.8 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo de rotura para los grupos de clasificación

No 2 y 3 - sub grupo 2						
Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Esfuerzo de rotura (Mpa)	$\bar{Y}_i - \bar{Y}$	$(\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	76,03	19,96	398,58	Aceptado
	2	3	75,62	19,55	382,37	Aceptado
10	3	3	73,83	17,76	315,43	Aceptado
	4	3	65,97	9,91	98,13	Aceptado
12	7	3	30,52	-25,55	652,77	Aceptado
	8	3	47,32	-8,75	76,58	Aceptado
16	15	3	79,46	23,40	547,35	Aceptado
	16	3	43,79	-12,28	150,68	Aceptado
13	9	2	65,51	9,44	89,19	Aceptado
	10	2	65,24	9,17	84,14	Aceptado
15	13	2	47,65	-8,41	70,79	Aceptado
	14	2	50,78	-5,29	27,96	Aceptado
18	19	2	45,82	-10,25	105,12	Aceptado
	20	2	47,70	-8,37	70,06	Aceptado
19	21	2	62,32	6,25	39,03	Aceptado
	22	2	44,43	-11,64	135,53	Aceptado
20	23	2	38,86	-17,20	295,97	Aceptado
	24	2	37,90	-18,17	330,22	Aceptado
22	26	3	61,97	5,90	34,84	Aceptado
	27	3	60,64	4,57	20,89	Aceptado

Número de datos	20
Media de la dispersión	56,07

$\sum (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$	3925,62
S	14,01

Criterio de probabilidad α	0,025
Coefficiente de corrección Kn	2,240

Límite inferior de corrección	24,686
Límite superior de corrección	87,45

Tabla 5.4.9 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del módulo de elasticidad para los grupos de clasificación No 2 y 3 - sub grupo 2

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Módulo de elasticidad (Mpa)	$\bar{Y}_i - \bar{Y}$	$(\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	14882,96	5712,41	32631612,47	Aceptado
	2	3	12029,80	2859,25	8175291,28	Aceptado
10	3	3	9562,66	392,11	153750,04	Aceptado
	4	3	6917,24	-2253,32	5077430,36	Aceptado
12	7	3	4145,32	-5025,24	25253008,44	Aceptado
	8	3	12798,21	3627,66	13159894,70	Aceptado
16	15	3	14301,20	5130,64	26323504,52	Aceptado
	16	3	5532,02	-3638,53	13238920,41	Aceptado
13	9	2	12019,90	2849,35	8118767,61	Aceptado
	10	2	12435,68	3265,12	10661018,30	Aceptado
15	13	2	7150,72	-2019,83	4079717,75	Aceptado
	14	2	6010,70	-3159,86	9984707,95	Aceptado
18	19	2	4578,14	-4592,41	21090232,55	Aceptado
	20	2	5191,04	-3979,52	15836564,93	Aceptado
19	21	2	19235,57	10065,02	101304618,53	Descartar
	22	2	8405,72	-764,84	584974,20	Aceptado
20	23	2	3587,64	-5582,92	31168964,84	Aceptado
	24	2	3741,87	-5428,69	29470654,72	Aceptado
22	26	3	9869,35	698,80	488317,09	Aceptado
	27	3	11015,35	1844,80	3403274,29	Aceptado

Número de datos	20
Media de la dispersión	9170,55

$\sum (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2$	360205225,01
S	4243,85

Criterio de probabilidad α	0,025
Coefficiente de corrección Kn	2,240

Límite inferior de corrección	-335,669
Límite superior de corrección	18676,78

Tabla 5.4.10 Segunda Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del módulo de elasticidad para los grupos

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Módulo de elasticidad (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	14882,96	6242,15	38964393,07	Aceptado
	2	3	12029,80	3388,98	11485215,93	Aceptado
10	3	3	9562,66	921,85	849803,01	Aceptado
	4	3	6917,24	-1723,58	2970719,55	Aceptado
12	7	3	4145,32	-4495,50	20209513,79	Aceptado
	8	3	12798,21	4157,39	17283931,41	Aceptado
16	15	3	14301,20	5660,38	32039919,25	Aceptado
	16	3	5532,02	-3108,79	9664605,46	Aceptado
13	9	2	12019,90	3379,08	11418201,85	Aceptado
	10	2	12435,68	3794,86	14400957,52	Aceptado
15	13	2	7150,72	-1490,09	2220377,89	Aceptado
	14	2	6010,70	-2630,12	6917536,37	Aceptado
18	19	2	4578,14	-4062,67	16505307,43	Aceptado
	20	2	5191,04	-3449,78	11900984,17	Aceptado
19	22	2	8405,72	-235,10	55271,16	Aceptado
20	23	2	3587,64	-5053,18	25534621,67	Aceptado
	24	2	3741,87	-4898,95	23999713,56	Aceptado
22	26	3	9869,35	1228,53	1509297,65	Aceptado
	27	3	11015,35	2374,53	5638413,69	Aceptado

Número de datos	19
Media de la dispersión	8640,82

$\sum (Y_i - \bar{Y})^2$	253568784,45
S	3653,18

Criterio de probabilidad α	0,026
Coefficiente de corrección K_n	2,212

Limite inferior de corrección	559,982
Limite superior de corrección	16721,65

Como se aprecia en la tabla 5.4.10, los valores del módulo de elasticidad para muchas de las mediciones, tienen un coeficiente de variación superior al 40%, esperable debido a la incertidumbre que hay en el tipo de madera, por esta razón, fue necesario realizar una depuración de valores soportada en el coeficiente de variación y en la experticia en cuanto a la magnitud de esta propiedad.

Los valores bajos se deben a las irregularidades presentadas de la probeta, ya que por tratarse de madera reciclada, no provienen de madera sana como lo establecen las normas estándar, adicionalmente, la reacomodación de las fibras durante el ensayo, puede significar errores en la medición de los deformímetros.

El coeficiente de variación del módulo de elasticidad con la tabla de valores 5.4.8 es de C.V.=42.28% que es muy superior al aceptado por la ASTM; con base en este C.V. descartamos los valores que estén por debajo del 57.72% de la media y aplicamos nuevamente el criterio de Chauvenet:

Tabla 5.4.11 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores corregidos mediante el C.V. del módulo de elasticidad para los grupos de clasificación No 2 y 3 - sub grupo 2

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Módulo de elasticidad (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	14882,96	5008,13	25081330,26	Aceptado
	2	3	12029,80	2154,96	4643871,60	Aceptado
10	3	3	9562,66	-312,17	97451,66	Aceptado
	4	3	6917,24	-2957,60	8747383,76	Aceptado
12	8	3	12798,21	2923,37	8546119,62	Aceptado
16	15	3	14301,20	4426,36	19592675,74	Aceptado
	16	3	5532,02	-4342,81	18860041,66	Aceptado
13	9	2	12019,90	2145,06	4601294,85	Aceptado
	10	2	12435,68	2560,84	6557897,74	Aceptado
15	13	2	7150,72	-2724,11	7420793,48	Aceptado
	14	2	6010,70	-3864,14	14931586,20	Aceptado
18	20	2	5191,04	-4683,80	21937986,16	Aceptado
19	22	2	8405,72	-1469,12	2158308,51	Aceptado
22	26	3	9869,35	-5,49	30,09	Aceptado
	27	3	11015,35	1140,51	1300772,93	Aceptado

Número de datos	15
Media de la dispersión	9874,84

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	144477544,27
S	3103,52

Criterio de probabilidad α	0,033
Coefficiente de corrección Kn	1,988

Limite inferior de corrección	3705,039
Limite superior de corrección	16044,63

Con la aplicación del criterio de Chauvenet tenemos una nueva tabla de datos para cada una de las propiedades con la cual realizaremos ahora la búsqueda del valor probable con una probabilidad de ocurrencia del 90%; este valor correspondiente al percentil 10%, será el dato de esfuerzo de Fluencia, Esfuerzo de Rotura y Módulo de elasticidad al cuál al aplicarle los factores de seguridad apropiados definiremos como los valores de diseño para emplear en el cálculo de una posible estructura mediante el uso de nuestros perfiles disponibles en la Fuente.

Aquí es necesario realizar una nota aclaratoria en cuanto a la escogencia del percentil 10% y no del percentil 5% como lo dictan las normas; esta decisión de adoptar el percentil 10% se realizó con base en dos criterios que emanan de la naturaleza de los materiales de la Fuente y del estado físico de los especímenes y probetas empleados para los diferentes ensayos; el primer criterio se basa en que son materiales de reciclaje, sobre los cuales se han realizado pruebas siguiendo los estándares de materiales sanos sin defectos en las probetas; esta condición de ensayo ya implica una reducción de resistencia implícita en las probetas que resulta un poco conservadora si se tiene en cuenta que los defectos en las probetas no están totalmente presentes en el espécimen a escala real sino que se presentan en muchos casos en sectores del espécimen, por lo tanto se tiene en cuenta la reducción de la resistencia por causa del defecto pero no se está teniendo en cuenta la redistribución de esfuerzos hacia las zonas sanas del espécimen que implica un aumento de resistencia frente a la probeta pero de difícil cuantificación; el segundo criterio se fundamenta en la escogencia de materiales mediante el método de clasificación visual, en el que los materiales escogidos para uso estructural, seguramente obtendrán calificaciones altas que garanticen una resistencia mayor a la especificada con el percentil 10%.

Para el cálculo de nuestro percentil 10% tomamos y/o calculamos los siguientes valores:

Media muestral
Desviación estándar
Grados de libertad
Coeficiente t-student

Donde los grados de libertad son básicamente la cantidad de datos disponibles menos una unidad, es decir, $n-1$.

Como se menciona en la norma ASTM-D-2555-06, es necesario tener en cuenta los coeficientes de variación máximos para cada una de las propiedades, los cuales reproducimos a continuación:

Propiedad mecánica	CV máx %
Módulo de rotura	16
Módulo de elasticidad	22
Esfuerzo máximo paralelo a la fibra	18
Esfuerzo máximo al corte	14
Compresión perpendicular	28

Tomado de ASTM-D-2555-06

Como se verá más adelante en el desarrollo de los ensayos y en los anexos de cálculo estadístico, estos parámetros de coeficiente de variación son muy difíciles de cumplir con los materiales de la Fuente, por lo que se adoptó un mecanismo de depuración mediante el empleo del coeficiente de variación.

En la tabla 5.5 se muestra el resumen de los cálculos realizados y el valor probable para cada propiedad:

Tabla 5.5: Valor probable para Esfuerzo L. P., Esfuerzo de rotura y Módulo de elasticidad percentil 10%

Esfuerzo L. P. Grupo 1 - Sub grupo 1		Esfuerzo de Rotura Grupo 1 - Sub grupo 1	
Media de la dispersión	21,72 MPa	Media de la dispersión	30,47 MPa
Desviación estandar	4,47	Desviación estandar	7,62
Coeficiente de variación	20,58%	Coeficiente de variación	25,01%
Grados de libertad	4,00	Grados de libertad	4,00
Coeficiente t-student	1,5332	Coeficiente t-student	1,5332
Valor probable 90%	14,86	Valor probable 90%	18,79

Módulo de elasticidad Grupo 1 - Sub grupo 1	
Media de la dispersión	3533,18 MPa
Desviación estandar	598,48
Coeficiente de variación	16,94%
Grados de libertad	3,00
Coeficiente t-student	1,64
Valor probable 90%	2553,05

Esfuerzo de L. P. Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2		Esfuerzo de Rotura Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	28,60 MPa	Media de la dispersión	56,07 MPa
Desviación estandar	7,12	Desviación estandar	14,01
Coeficiente de variación	24,90%	Coeficiente de variación	24,99%
Grados de libertad	17,00	Grados de libertad	19,00
Coeficiente t-student	1,3334	Coeficiente t-student	1,3277
Valor probable 90%	19,11	Valor probable 90%	37,47 MPa

Módulo de elasticidad Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	9874,84 MPa
Desviación estandar	3103,52
Coeficiente de variación	31,43%
Grados de libertad	14,00
Coeficiente t-student	1,3450
Valor probable 90%	5700,60 MPa

Ya obtenidos los valores probables de los datos experimentales disponibles, realizamos un último paso que es el plantear una ecuación que relacione la densidad de la muestra con cada una de las propiedades; para esto, es posible recurrir a la realización de una regresión lineal ó exponencial para linealizar la dispersión de datos corregidos.

De la estadística conocemos que la recta que mejor se ajusta a la distribución de puntos tiene la forma:

$$Y = mX + b$$

Donde la pendiente m es:

$$m = \frac{n \sum XY - (\sum X)(\sum Y)}{n \sum (X^2) - (\sum X)^2}$$

El punto de corte con el eje ordenado es:

$$b = \frac{\sum Y - m(\sum X)}{n}$$

Y el coeficiente de correlación para conocer el ajuste de esta curva es:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \sqrt{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2}}$$

Adicionalmente, si los datos no se ajustan a una recta, es posible linealizar los datos mediante una regresión exponencial o logarítmica o por mínimos cuadrados; la deducción de las ecuaciones presentadas es muy dispendiosa y no es el tema de este documento por lo tanto se adoptan de la estadística tradicional.

Para esta búsqueda, nos remitimos nuevamente a la dispersión de datos inicial **Tabla 5,3 Valores corregidos de Fy, Fu, MOE del ensayo de flexión en probetas**; a esta tabla, le realizamos una primer depuración consistente en retirar los valores de módulo de elasticidad descartables por coeficiente de variación C.V. así como los valores que resultaron nulos y los reorganizamos en la

tabla 5.5.

Es algo evidente que los pares de valores de densidad vs propiedad no conservan una distribución ascendente o descendente; al contrario de esto, el hecho de ser materiales de reciclaje, implica que las propiedades han sido deterioradas y esto sumado a los defectos propios que presenta el espécimen, determinan el comportamiento anormal de los pares de datos; por esta razón no es posible establecer una ecuación que relacione con bastante ajuste la densidad y sus propiedades.

El coeficiente de correlación de estos datos al realizar las linealizaciones en algunos casos está por debajo del 0.80, por lo tanto, es muy posible que las ecuaciones que se obtuvieron no reflejen la realidad de los especímenes de la Fuente pero si pueden llegar a proporcionar unos límites superior e inferior entre los cuales pueden llegar a presentarse la propiedad en estudio y compararla con el valor probable obtenido.

A continuación se muestran los cálculos tabulados para la obtención de los términos que describen las ecuaciones para las tres propiedades buscadas, como ya se mencionó anteriormente, hay unos valores que se salen de la agrupación de puntos o que no siguen un patrón gráfico similar al grupo de puntos (ver gráficas 3, 4 y 5); para la búsqueda de las expresiones que relacionen la densidad con la propiedad mecánica buscada, aplicamos el criterio de Chauvenet a la tabla de dispersión completa de datos de la tabla 5.5 con los siguientes resultados mostrados en las tablas 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3 y 5.5.4:

Tabla 5,5 Valores FLP, Fu, MOE del ensayo de flexión en probetas para la formulación de expresiones de relación p-F

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Densidad corregida (Kg/m3)	Esfuerzo L. P. (Mpa)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	Modulo de elasticidad (MPa)
9	1	3	540,11	65,45	76,03	14882,96
	2	3	525,37	57,42	75,62	12029,80
10	3	3	584,68	30,99	73,83	9562,66
	4	3	548,07	19,70	65,97	6917,24
11	5	1	392,25	28,64	33,76	Descartada
	6	1	391,80	17,52	24,90	Descartada
12	7	3	492,51	21,92	30,52	Descartada
	8	3	464,95	34,49	47,32	12798,21
13	9	2	493,77	41,33	65,51	12019,90
	10	2	501,03	42,28	65,24	12435,68
14	11	1	388,83	16,41	19,10	Descartada
	12	1	371,88	21,80	33,67	Descartada
15	13	2	453,03	24,17	47,65	7150,72
	14	2	446,17	28,70	50,78	6010,70
16	15	3	536,19	40,98	79,46	14301,20
	16	3	535,36	23,05	43,79	5532,02
17	17	1	389,93	24,23	40,90	5726,35
	18	1	387,02	Descartada	Descartada	Descartada
18	19	2	465,74	26,44	45,82	Descartada
	20	2	463,43	30,30	47,70	5191,04
19	21	2	462,44	25,68	62,32	19235,57
	22	2	459,68	18,24	44,43	8405,72
20	23	2	453,58	24,72	38,86	Descartada
	24	2	453,82	25,15	37,90	Descartada
22	26	3	499,32	33,09	61,97	9869,35
	27	3	504,52	23,61	60,64	11015,35

Tabla 5.5.1 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo L. P. de toda la dispersión

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Densidad corregida (Kg/m3)	Esfuerzo L. P. (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	540,11	65,45	35,60	1267,48	Descartar
	2	3	525,37	57,42	27,56	759,80	Descartar
10	3	3	584,68	30,99	1,14	1,31	Aceptado
	4	3	548,07	19,70	-10,15	103,05	Aceptado
11	5	1	392,25	28,64	-1,22	1,48	Aceptado
	6	1	391,80	17,52	-12,33	152,09	Aceptado
12	7	3	492,51	21,92	-7,93	62,93	Aceptado
	8	3	464,95	34,49	4,64	21,52	Aceptado
13	9	2	493,77	41,33	11,48	131,77	Aceptado
	10	2	501,03	42,28	12,43	154,43	Aceptado
14	11	1	388,83	16,41	-13,44	180,60	Aceptado
	12	1	371,88	21,80	-8,06	64,91	Aceptado
15	13	2	453,03	24,17	-5,68	32,29	Aceptado
	14	2	446,17	28,70	-1,15	1,33	Aceptado
16	15	3	536,19	40,98	11,13	123,87	Aceptado
	16	3	535,36	23,05	-6,80	46,29	Aceptado
17	17	1	389,93	24,23	-5,62	31,63	Aceptado
18	19	2	465,74	26,44	-3,41	11,64	Aceptado
	20	2	463,43	30,30	0,44	0,20	Aceptado
19	21	2	462,44	25,68	-4,18	17,45	Aceptado
	22	2	459,68	18,24	-11,61	134,84	Aceptado
20	23	2	453,58	24,72	-5,13	26,31	Aceptado
	24	2	453,82	25,15	-4,70	22,13	Aceptado
22	26	3	499,32	33,09	3,24	10,49	Aceptado
	27	3	504,52	23,61	-6,24	38,94	Aceptado

Número de datos	25
Media de la dispersión	29,85

$\sum (Y_i - \bar{Y})^2$	3398,78
S	11,66

Criterio de probabilidad α	0,020
Coefficiente de corrección Kn	2,320

Límite inferior de corrección	2,802
Límite superior de corrección	56,90

Tabla 5.5.2 Segunda Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo L. P. de toda la dispersión

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Densidad corregida (Kg/m3)	Esfuerzo L. P. (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
10	3	3	584,68	30,99	7,99	63,92	Aceptado
	4	3	548,07	19,70	-3,30	10,88	Aceptado
11	5	1	392,25	28,64	5,64	31,77	Aceptado
	6	1	391,80	17,52	-5,48	30,03	Aceptado
12	7	3	492,51	21,92	-1,08	1,17	Aceptado
	8	3	464,95	34,49	11,49	132,06	Aceptado
13	9	2	493,77	41,33	18,33	336,05	Aceptado
	10	2	501,03	42,28	19,28	371,70	Aceptado
14	11	1	388,83	16,41	-6,59	43,38	Aceptado
	12	1	371,88	21,80	-1,20	1,45	Aceptado
15	13	2	453,03	24,17	1,17	1,37	Aceptado
	14	2	446,17	28,70	5,70	32,46	Aceptado
16	15	3	536,19	40,98	17,98	323,37	Aceptado
	16	3	535,36	23,05	0,05	0,00	Aceptado
17	17	1	389,93	24,23	1,23	1,51	Aceptado
18	19	2	465,74	26,44	3,44	11,84	Aceptado
	20	2	463,43	30,30	7,30	53,23	Aceptado
19	21	2	462,44	25,68	2,68	7,16	Aceptado
	22	2	459,68	18,24	-4,76	22,65	Aceptado
20	23	2	453,58	24,72	1,72	2,97	Aceptado
	24	2	453,82	25,15	2,15	4,62	Aceptado
22	26	3	499,32	33,09	10,09	101,84	Aceptado
	27	3	504,52	23,61	0,61	0,37	Aceptado

Número de datos	23
Media de la dispersión	27,11

$\sum (Y_i - \bar{Y})^2$	1585,81
S	8,30

Criterio de probabilidad α	0,022
Coefficiente de corrección Kn	2,288

Límite inferior de corrección	8,108
Límite superior de corrección	46,10

Tabla 5.5.3 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del esfuerzo de rotura de toda la dispersión

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Densidad corregida (Kg/m3)	Esfuerzo de rotura (Mpa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	540,11	76,03	25,08	629,24	Aceptado
	2	3	525,37	75,62	24,67	608,83	Aceptado
10	3	3	584,68	73,83	22,88	523,52	Aceptado
	4	3	548,07	65,97	15,03	225,79	Aceptado
11	5	1	392,25	33,76	-17,19	295,41	Aceptado
	6	1	391,80	24,90	-26,05	678,38	Aceptado
12	7	3	492,51	30,52	-20,43	417,35	Aceptado
	8	3	464,95	47,32	-3,63	13,18	Aceptado
13	9	2	493,77	65,51	14,56	212,11	Aceptado
	10	2	501,03	65,24	14,29	204,29	Aceptado
14	11	1	388,83	19,10	-31,85	1014,30	Aceptado
	12	1	371,88	33,67	-17,28	298,58	Aceptado
15	13	2	453,03	47,65	-3,29	10,85	Aceptado
	14	2	446,17	50,78	-0,17	0,03	Aceptado
16	15	3	536,19	79,46	28,52	813,15	Aceptado
	16	3	535,36	43,79	-7,15	51,19	Aceptado
17	17	1	389,93	40,90	-10,04	100,89	Aceptado
18	19	2	465,74	45,82	-5,13	26,34	Aceptado
	20	2	463,43	47,70	-3,25	10,56	Aceptado
19	21	2	462,44	62,32	11,37	129,23	Aceptado
	22	2	459,68	44,43	-6,52	42,53	Aceptado
20	23	2	453,58	38,86	-12,08	146,01	Aceptado
	24	2	453,82	37,90	-13,05	170,35	Aceptado
22	26	3	499,32	61,97	11,02	121,49	Aceptado
	27	3	504,52	60,64	9,69	93,91	Aceptado

Número de datos	25
Media de la dispersión	50,95

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	6837,52
S	16,54

Criterio de probabilidad α	0,020
Coefficiente de corrección Kn	2,320

Límite inferior de corrección	12,581
Límite superior de corrección	89,32

Tabla 5.5.4 Aplicación del criterio de Chauvenet para los valores del módulo de elasticidad de toda la dispersión

Espécimen	Probeta	Grupo de clasificación	Densidad corregida (Kg/m3)	Módulo de elasticidad (MPa)	$Y_i - \bar{Y}$	$(Y_i - \bar{Y})^2$	Criterio de Chauvenet
9	1	3	540,11	14882,96	4701,52	22104323,57	Aceptado
	2	3	525,37	12029,80	1848,36	3416440,33	Aceptado
10	3	3	584,68	9562,66	-618,78	382882,96	Aceptado
	4	3	548,07	6917,24	-3264,20	10655005,02	Aceptado
12	8	3	464,95	12798,21	2616,77	6847494,72	Aceptado
13	9	2	493,77	12019,90	1838,46	3379935,23	Aceptado
	10	2	501,03	12435,68	2254,24	5081581,66	Aceptado
15	13	2	453,03	7150,72	-3030,72	9185240,82	Aceptado
	14	2	446,17	6010,70	-4170,74	17395105,13	Aceptado
16	15	3	536,19	14301,20	4119,76	16972410,69	Aceptado
	16	3	535,36	5532,02	-4649,42	21617086,17	Aceptado
17	17	1	389,93	5726,35	-4455,09	19847837,42	Aceptado
	20	2	463,43	5191,04	-4990,40	24904124,91	Aceptado
19	21	2	462,44	19235,57	9054,13	81977350,58	Descartar
	22	2	459,68	8405,72	-1775,72	3153185,64	Aceptado
22	26	3	499,32	9869,35	-312,09	97399,05	Aceptado
	27	3	504,52	11015,35	833,91	695408,29	Aceptado

Número de datos	17
Media de la dispersión	10181,44

$\Sigma (Y_i - \bar{Y})^2$	247712812,19
S	3817,24

Criterio de probabilidad α	0,029
Coefficiente de corrección Kn	2,156

Límite inferior de corrección	1951,464
Límite superior de corrección	18411,41

En la tabla 5.5.5 se muestran los valores promedio para cada espécimen y los valores de los coeficientes A y K para una regresión exponencial de la forma $Y = AK^X$:

Tabla 5.5.5 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores promedio de densidad y esfuerzo L. P.

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m ³)	Esfuerzo de fluencia Y (Mpa)	Log Y	X Y	X ²	Y ²
10	3	566,38	25,35	1,40	795,16	320780,64	1,97
11	1	392,03	23,08	1,36	534,41	153683,60	1,86
12	3	478,73	28,21	1,45	694,32	229182,41	2,10
13	2	497,40	41,81	1,62	806,40	247406,76	2,63
14	1	380,36	19,10	1,28	487,29	144669,93	1,64
15	2	449,60	26,43	1,42	639,40	202140,16	2,02
16	3	535,78	32,02	1,51	806,53	287054,85	2,27
17	1	389,93	24,23	1,38	539,79	152045,40	1,92
18	2	464,59	28,37	1,45	674,97	215839,22	2,11
19	2	461,06	21,96	1,34	618,55	212576,32	1,80
20	2	453,70	24,94	1,40	633,74	205843,69	1,95
22	3	501,92	28,35	1,45	729,08	251923,69	2,11
Sumatorias		5571,46		17,08	7959,65	2623146,68	24,38

Número de datos	12
Pendiente de la recta	0,000870577
Corte de la recta en las ordenadas	1,018764206
Coefficiente de correlación	0,581838594

Termino independiente A	10,442
Coefficiente K	1,002

Expresión que estima el esfuerzo al límite de proporcionalidad en términos de la densidad:

$$F_y = 10.442(1.002)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

El dividendo 1.04144 recordemos que es el factor de corrección de la densidad medida directamente de los especímenes de la fuente.

Un procedimiento similar se siguió para la obtención de las expresiones para relacionar la densidad básica con el esfuerzo de rotura y el módulo de elasticidad; los resultados se aprecian a continuación:

Tabla 5.5.6 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores promedio de densidad y esfuerzo de rotura

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m ³)	Esfuerzo de fluencia Y (Mpa)	Log Y	X Y	X ²	Y ²
9	3	532,74	75,83	1,88	1001,46	283811,91	3,53
10	3	566,38	69,90	1,84	1044,67	320780,64	3,40
11	1	392,03	29,33	1,47	575,23	153683,60	2,15
12	3	478,73	38,92	1,59	761,25	229182,41	2,53
13	2	497,40	65,38	1,82	902,99	247406,76	3,30
14	1	380,36	26,38	1,42	540,62	144669,93	2,02
15	2	449,60	49,22	1,69	760,78	202140,16	2,86
16	3	535,78	61,63	1,79	958,92	287054,85	3,20
17	1	389,93	40,90	1,61	628,48	152045,40	2,60
18	2	464,59	46,76	1,67	775,79	215839,22	2,79
19	2	461,06	53,37	1,73	796,39	212576,32	2,98
20	2	453,70	38,38	1,58	718,71	205843,69	2,51
22	3	501,92	61,30	1,79	897,18	251923,69	3,20
Sumatorias		5571,46		20,00	9361,02	2623146,68	33,54

Número de datos	13
Pendiente de la recta	0,00352336
Corte de la recta en las ordenadas	0,101830898
Coefficiente de correlación	0,977577441

Termino independiente A	1,264
Coefficiente K	1,008

Expresión que estima el esfuerzo de rotura en términos de la densidad:

$$F_r = 1.264(1.008)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

Tabla 5.5.7 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores promedio de densidad y módulo de elasticidad

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m3)	Esfuerzo de fluencia Y (Mpa)	Log Y	X Y	X^2	Y^2
9	3	532,74	13456,38	4,13	2199,65	283811,91	17,05
10	3	566,38	8239,95	3,92	2217,88	320780,64	15,33
12	3	464,95	12798,21	4,11	1909,62	216178,50	16,87
13	2	497,40	12227,79	4,09	2033,05	247406,76	16,71
15	2	449,60	6580,71	3,82	1716,70	202140,16	14,58
16	3	535,78	9916,61	4,00	2141,15	287054,85	15,97
17	1	426,68	5458,69	3,74	1594,54	182055,82	13,97
19	2	461,06	13820,65	4,14	1909,03	212576,32	17,14
22	3	501,92	10442,35	4,02	2017,12	251923,69	16,15
Sumatorias		3903,76		31,82	15539,08	1920116,75	126,72

Número de datos	9
Pendiente de la recta	0,007654546
Corte de la recta en las ordenadas	0,215551402
Coefficiente de correlación	0,967212694

Termino independiente A	1,643
Coefficiente K	1,018

Expresión que estima el módulo de elasticidad en términos de la densidad:

$$MOE = 1.643(1.018)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

5.6. ENSAYO DE TENSION PARALELA A LA FIBRA FLEXION EN PROBETAS – ESFUERZO ULTIMO

El ensayo de tensión se practicó sobre 23 probetas extraídas de 7 especímenes de la Fuente; las dimensiones y formas de las probetas corresponden a las descritas en la norma NTC 944; estas probetas se obtuvieron de los sitios que presentan defectos como nudos y desviación de la fibra con el fin de caracterizar la resistencia ultima a tensión del material y como un parámetro de comparación frente al comportamiento a flexión que ya se estudió.

El ensayo de tensión normalizado por la norma NTC 944 indica que la probeta debe tener las siguientes características mostradas en la figura 9:

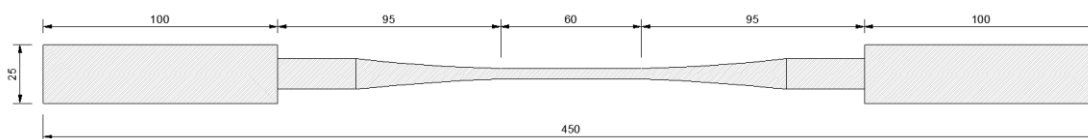


Figura No 9, Probeta para ensayo de tensión paralela a la fibra, norma NTC 944

En la NTC 944 se establece que la carga en las mordazas debe aplicarse con un velocidad entre 0.75 a 1.25 mm/min, que se debe hacer una gráfica esfuerzo vs deformación e indicar esfuerzo de

fluencia, esfuerzo último y módulo de elasticidad.

No fue posible instalar un deformímetro en nuestras probetas de tensión por dos razones fundamentales; la primera es que la falla de la probeta fue sustancialmente súbita y la segunda, que la cantidad de deformación antes de la falla fue mínima, con lo cual podemos llegar a priori a una conclusión muy importante y es que nuestros especímenes trabajando a tensión son muy poco confiables.

5.6.1. Protocolo para Ensayo de Tensión paralela a la fibra en probetas:

1. Equipo:

Máquina universal de ensayos del Laboratorio de estructuras de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Mordazas para ajuste de probeta, cámara fotográfica, Formatos para toma de datos.

2. Preparación de las probetas

Las probetas deben ser cortadas de los especímenes de la fuente con una longitud de 45 cm y llevadas al taller de carpintería para realizar el perfilado de la probeta mediante el uso de una sierra sin fin.

Las probetas deben extraerse de zonas en las cuales se presenten defectos tales como nudos, desviación del grano y otros que sean de especial relevancia en el estudio del espécimen.

Mediante el uso de herramienta manual apropiada, se deben retirar del espécimen los elementos de sujeción como clavos, remaches, grapas y demás insertos, que puedan afectar el maquinado de la probeta y causar accidentes al momento de su elaboración.

Las muestras deben identificarse con etiquetas adhesivas o con marcadores permanentes, registrando el número de espécimen, número de probeta, fecha de ensayo y tipo de ensayo.

3. Montaje del ensayo

Las probetas de 45 cm de longitud, se montarán en las mordazas metálicas que se instalan en la máquina universal.

El embolo de carga debe estar liberado de su pasador con el fin de no transmitir algún tipo de flexión accidental a la cabeza de la probeta; este se moverá lentamente con el fin de arrastrar levemente la mordaza móvil hasta que se ajuste a la probeta sin efectuar carga inicial.

Una vez el embolo este en posición, se hace el registro de la primer lectura de carga,

que por lo general debe ser cero.

4. Procedimiento de carga

La carga se aplicó lentamente hasta llevar la probeta a rotura

5. Registros del ensayo

Identificación de la probeta – Espécimen y numero de probeta

Dato de carga última

Registro fotográfico

Sección transversal promedio de la probeta

B x A

Peso Húmedo de la porción cercana a la zona de falla

Wh

Peso seco de la porción cercana a la zona de falla

Ws

6. Cálculos desarrollados

Obtención del volumen para humedad

$$Vol = B \times A \times Lh$$

Contenido de humedad de la muestra

$$CH = \frac{Wh - Ws}{Ws}$$

Densidad húmeda

$$\rho_h = \frac{Wh}{Vol}$$

Densidad básica

$$\rho_b = \frac{\rho_h}{1.04144}$$

Carga última

P_u – Lectura del disco de carga

Esfuerzo último

$$f_u = \frac{B \times A}{P_u}$$

El desarrollo del protocolo del ensayo de tensión paralelo a la fibra para cada una de las probetas, se muestra con detalle en el ANEXO No 3 FORMATOS ENSAYO DE TENSION PARALELA A LA FIBRA - NTC 944

5.6.2. Estimación del valor probable y de la relación Propiedad – Gravedad específica

Sabiendo que las conexiones de elementos de madera trabajando a tensión son bastante complicadas y costosas y esto aunado al hecho de que la falla que se presenta en nuestros especímenes es súbita, debemos limitar o si es posible eliminar el uso de elementos a tensión dentro de una estructura portante fabricados a partir de los materiales de la fuente

Para el ensayo de tensión paralela a la fibra, buscaremos el valor de su resistencia última y la ecuación que puede relacionar la densidad básica con esta propiedad siguiendo el mismo procedimiento que para las propiedades del ensayo de Flexión.

En las tablas 6.1, 6.2 y 6.3 se muestran los cálculos de los valores corregidos para el esfuerzo último a tensión tomando como base los valores experimentales, la densidad corregida y el contenido de humedad.

A la dispersión de datos aplicamos el criterio de Cahuenet incluyendo la corrección por el coeficiente de variación, el cuál en primer instancia dio del orden de 50.68%, lo cual es demasiado alto.

Se descartaron los datos de esfuerzo último que estuvieran por debajo del 49.32% de la media de la primer dispersión; lo anterior está sustentado en el hecho de haber extraído probetas de las zonas más afectadas por defectos propios; esto a escala de un espécimen real no es reflejo de la capacidad a tensión del mismo, por lo tanto se descartaron los valores muy inferiores que causan un incremento en el coeficiente de variación.

El desarrollo detallado del procedimiento aplicado para los esfuerzos de tensión se encuentra en el anexo No 9 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DEL ESFUERZO ULTIMO A TENSION PARALELA.

En esta ocasión, los únicos datos para el sub grupo 1 pertenecen al espécimen 7, por lo tanto estos se descartaron y solo se realizó el procedimiento para el sub grupo 2.

**Tabla 6.4.3 Valor probable para Esfuerzo de rotura
percentil 10%**

Valor probable 95% para Módulo de elasticidad Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	19,20 MPa
Desviación estandar	6,85
Coeficiente de variación	35,68%
Grados de libertad	16,00
Coeficiente t-student	1,3368
Valor probable 90%	10,04 MPa

Por último, empleamos toda la dispersión de datos para encontrar una expresión que relacione la densidad básica con el esfuerzo de rotura a tensión; nuevamente enfatizamos en el hecho que esta expresión por tener un coeficiente de correlación menor al 0.85, no es un buen reflejo de la resistencia de la muestra sino un indicativo que se explicará más adelante.

Tabla 6.5.2 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores de densidad y esfuerzo de rotura

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m ³)	Esfuerzo de rotura Y (Mpa)	Log Y	X Y	X ²	Y ²
8	3	555,41	19,63	1,29	718,05	308480,27	1,67
	3	555,41	22,92	1,36	755,50	308480,27	1,85
	3	555,41	20,74	1,32	731,39	308480,27	1,73
	3	555,41	20,76	1,32	731,62	308480,27	1,74
7	1	435,45	10,27	1,01	440,52	189616,70	1,02
	1	435,45	8,82	0,95	411,72	189616,70	0,89
6	2	453,10	7,58	0,88	398,50	205299,61	0,77
	2	453,10	7,20	0,86	388,44	205299,61	0,73
	2	453,10	9,22	0,96	437,04	205299,61	0,93
	2	453,10	7,23	0,86	389,35	205299,61	0,74
5	2	462,63	8,75	0,94	435,69	214026,52	0,89
	2	462,63	12,49	1,10	507,35	214026,52	1,20
	2	462,63	13,28	1,12	519,69	214026,52	1,26
	2	462,63	12,87	1,11	513,32	214026,52	1,23
4	3	521,11	33,03	1,52	791,52	271555,63	2,31
	3	521,11	26,95	1,43	745,48	271555,63	2,05
	3	521,11	26,17	1,42	738,79	271555,63	2,01
	3	521,11	30,44	1,48	773,06	271555,63	2,20
2	2	458,10	15,95	1,20	551,01	209855,61	1,45
	2	458,10	15,98	1,20	551,41	209855,61	1,45
	2	458,10	17,62	1,25	570,78	209855,61	1,55
	2	458,10	19,52	1,29	591,20	209855,61	1,67
1	2	453,70	6,02	0,78	353,85	205843,69	0,61
	2	453,70	7,10	0,85	386,15	205843,69	0,72
	2	453,70	4,89	0,69	312,78	205843,69	0,48
Sumatorias		12033,40		28,19	13744,22	5833635,02	33,15

Número de datos	25
Pendiente de la recta	0,004217154
Corte de la recta en las ordenadas	-0,902248927
Coeficiente de correlación	0,735302501

Término independiente A	0,125
Coeficiente K	1,010

Expresión que estima el esfuerzo de rotura por tensión en términos de la densidad:

$$F_u = 0.125(1.010)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

5.7. ENSAYO DE COMPRESION PARALELA EN PROBETAS – ESFUERZO DE AL LIMITE DE PORPORCIONALIDAD, ESFUERZO ULTIMO Y MODULO DE ELASTICIDAD

Este ensayo se realizó sobre 21 probetas de madera de especímenes de la Fuente, con una longitud aproximada de 24 cm; las probetas se cortaron de los perfiles adquiridos sin realizar ningún tipo de modificación a la sección transversal original; el único tratamiento que se realizó fue la extracción de los clavos y otros insertos para evitar accidentes en el momento de la falla si esta fuere explosiva.

El ensayo de compresión paralela a la fibra normalizado por la norma NTC 784 indica que la probeta debe tener las siguientes dimensiones:

Ancho: Entre 30 y 50 mm
Altura: Igual al ancho entre 30 mm y 50 mm

Longitud: De dos a cuatro veces el ancho de la sección

Con lo anterior, las dimensiones estandarizadas de la probeta serian de máximo 50 x 50 x 200 mm, sin embargo para la colocación del deflectómetro disponible, fue necesario aumentar esta longitud a 240 mm; para la sección transversal, dado el tamaño de los especímenes, esta se conserva según la norma.

5.7.1. Protocolo para Ensayo de compresión paralela en probetas:

1. Equipo:

Máquina de compresión del Laboratorio de concretos de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Deformímetro calibrado, apoyos metálicos de rotula (propios de la máquina de compresión), cámara fotográfica, Formatos para toma de datos.

2. Preparación de las probetas

Las probetas deben ser cortadas de los especímenes de la fuente con una longitud aproximada de 24 cm.

Teniendo en cuenta que la longitud máxima encontrada de los perfiles es de 2.50 m, las probetas deben extraerse de zonas en las cuales se presenten defectos tales como nudos, desviación del grano y otros que sean de especial relevancia en el estudio del espécimen.

La sección transversal de la probeta se prepara para lograr cuadrados de aproximadamente 50 mm x 50 mm.

Mediante el uso de herramienta manual apropiada, se deben retirar del espécimen los elementos de sujeción como clavos, remaches, grapas y demás insertos antes de elaborar la probeta, para evitar accidentes que afecten a las personas o a las herramientas.

Las muestras deben identificarse con stickers o con marcadores permanentes, registrando el número de espécimen, número de probeta, fecha de ensayo y tipo de ensayo.

3. Montaje del ensayo

Se marcará el eje central de las probetas de aproximadamente 24 cm de longitud con un esfero de tinta en dos caras opuestas y sobre estos ejes se marcaran dos puntos con separación de 150 mm, de tal manera que el deformímetro se instale con estas marcas de referencia; una vez el deformímetro esté instalado, se montará la probeta sobre el apoyo base de la máquina de compresión, el operario realizará los ajustes necesarios de calibración y puesta en ceros.

No es necesario ubicar los defectos en un sitio determinado, ya que la carga al ser axial, incluirá dentro de su línea de acción, todos los defectos que posea la probeta.

El embolo de carga se hará llegar hasta la cara superior de la probeta manualmente tratando de ejercer una fuerza despreciable sobre esta.

Una vez el embolo este en posición, se coloca nuevamente en ceros la máquina y se inicia el proceso de carga y toma de datos.

4. Procedimiento de carga

La carga se aplicó de tal manera que se produzca una deformación aproximada de 0.6 mm por minuto según la norma NTC 784; los datos de carga y deformación se tomaron constantes a intervalos de carga de 500 Kg registrados por tablero de la máquina; en los casos en que el deformmetro presenta saltos de lectura después del límite de proporcionalidad, los intervalos se tomaron ajustados a la siguiente lectura de carga.

5. Registros del ensayo

Identificación de la probeta – Espécimen y numero de probeta

Datos de carga vs deformación

Registro fotográfico

Sección transversal promedio de la probeta	B x A
Longitud entre apoyos	Lb
Longitud total de la probeta	Lt
Longitud de apertura del deformímetro	Ld
Peso seco de la porción cercana a la zona de falla	Ws
Peso húmedo de la porción cercana a la zona de falla	Wh
Masa de la probeta	m

6. Cálculos desarrollados

Contenido de humedad de la muestra	$CH = \frac{Wh - Ws}{Ws}$
Densidad húmeda	$\rho_h = \frac{m}{B \times A \times m}$
Densidad básica	$\rho_b = \frac{\rho_h}{1.04144}$

Gráfica carga – deformación	Con los datos experimentales
Carga última	P_u - Extraída de la gráfica
Carga al límite de proporcionalidad	P_y - Extraída de la gráfica
Deformación al límite de proporcionalidad	δ_y - Extraída de la gráfica
Esfuerzo último	$f_u = \frac{P_u}{B \times A}$
Esfuerzo al límite de proporcionalidad	$f_y = \frac{P_y}{B \times A}$
Módulo de elasticidad	$E = \frac{P_y \times L_d}{B \times A \times \delta_y}$

El desarrollo del protocolo del ensayo de compresión para cada una de las probetas, se muestra con detalle en el ANEXO No 4 FORMATOS ENSAYO DE COMPRESION PARALELA A LA FIBRA - NTC 784

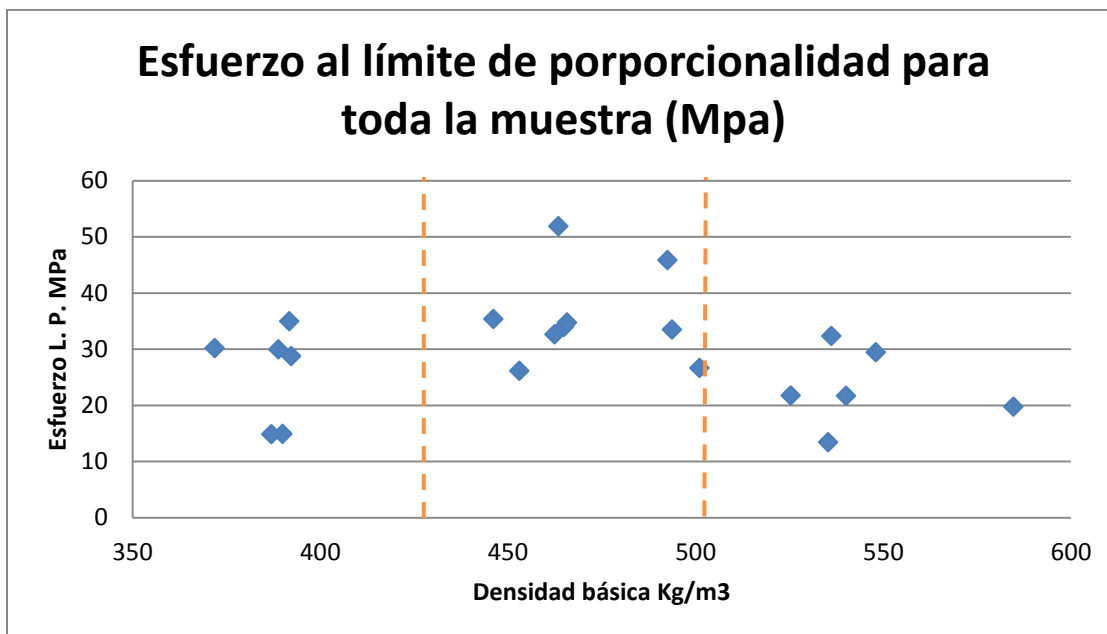
5.7.2. Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad específica

Realizamos un procedimiento similar al de los datos del ensayo de flexión debido a la cantidad de datos que tenemos de las tres propiedades buscadas; el desarrollo detallado del procedimiento aplicado para los esfuerzos de tensión se encuentra en el anexo No 10 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE COMPRESION PARALELA; es así que en las tablas 7.1, 7.2 y 7.3 vemos los datos corregidos de esfuerzo de fluencia, esfuerzo de rotura y módulo de elasticidad a compresión para las probetas ensayadas.

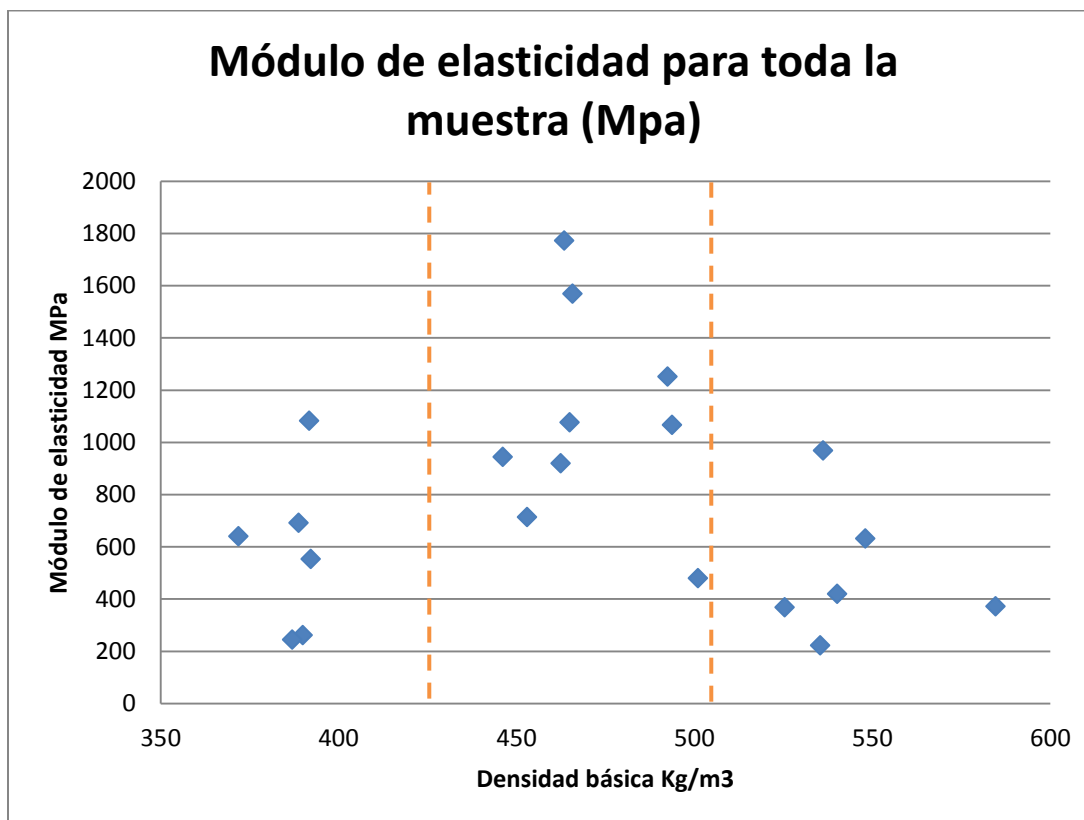
La tabla 7.1 muestra el resumen de los esfuerzos y módulo de elasticidad hallados experimentalmente; estos datos no están corregidos al contenido de humedad establecidos para nuestros especímenes de la Fuente; para esto, en la tabla 7.2 se muestran los valores del factor de corrección para cada una de las tres propiedades y en la tabla 7.3, se muestra nuevamente el resumen con los datos corregidos y adicionalmente, se encuentra el grupo de clasificación para cada espécimen; con estos últimos datos, realizamos las gráficas de dispersión de las tres propiedades buscadas que se pueden ver en las gráficas 6, 7 y 8.

Se emplearon los datos de las dispersiones para elaborar las gráficas que representen la densidad contra cada propiedad, sin embargo vimos a priori que la baja densidad de nuestras maderas hace que la población no sea representativa para este tipo de gráficas de correlación.

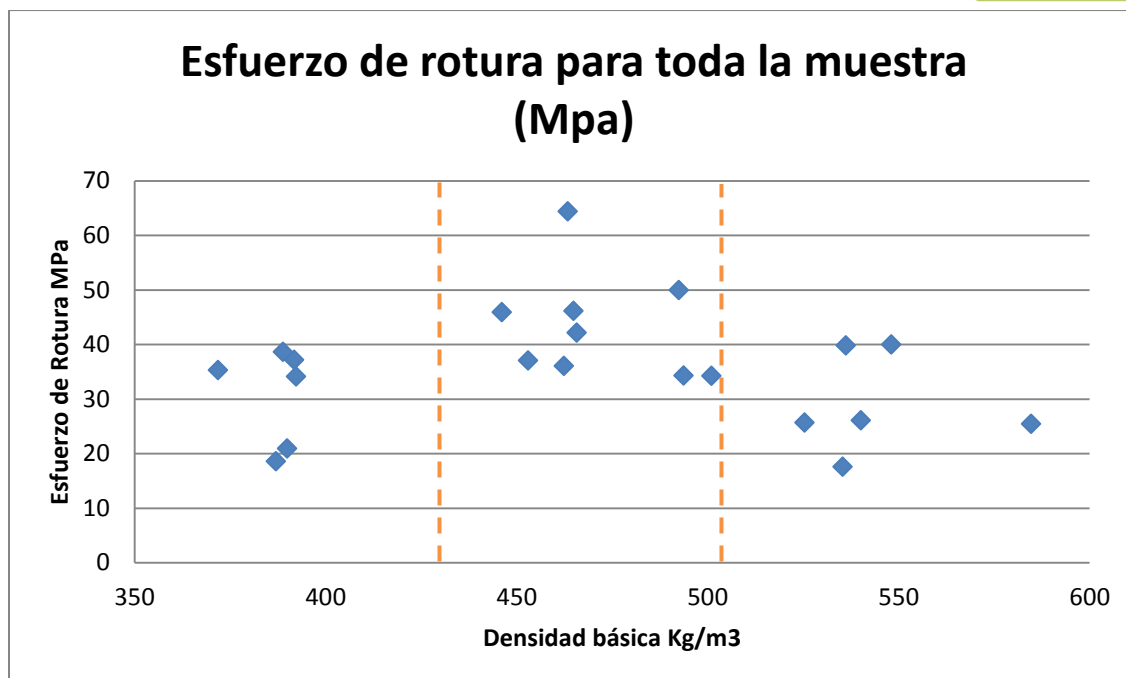
Para el análisis estadístico, “La Muestra” corresponde a la totalidad e probetas ensayadas a compresión paralela, las gráficas que representan la dispersión de los datos para las tres propiedades se presentan a continuación:



Gráfica No 6, Dispersión de datos para el esfuerzo de fluencia



Gráfica No 7, Dispersión de datos para el módulo de elasticidad



Gráfica No 8, Dispersión de datos para el esfuerzo de rotura

Además de existir unos valores que se salen de la agrupación de puntos o que no siguen un patrón gráfico similar al grupo de puntos, también se presenta disparidad en las ordenadas respecto de las abscisas, hay cuatro e incluso cinco valores de esfuerzo o módulo de elasticidad que corresponden a un dato de densidad aproximadamente igual.

Las probetas del grupo 3 presentan resistencia inferiores al grupo 2, este comportamiento se debe en especial a la desviación de la fibra que en estas probetas se desvía y sale transversalmente de la cara hacia el extremo de la probeta, provocando fallas por deslizamiento y corte antes de la falla por aplastamiento de los anillos, por lo tanto, no se alcanza la especificación de mayor resistencia a mayor densidad del material.

Igual que los datos del ensayo de flexión, a esta colección de datos se le aplicó el criterio de Chauvenet para descartar los valores que posiblemente indiquen errores de ejecución de ensayos o que no muestren la realidad de la pieza ensayada aunque esto último, no es posible identificarlo con estas probetas. Ya que la resistencia a compresión también depende de las resistencias transversales del ligante de las fibras que puede estar o no afectado en probetas de mayor resistencia o puede estar mejorado o no por el contenido de humedad intersticial en las probetas con anillos más gruesos.

A partir de los datos de la tabla 7.3 de valores corregidos por humedad, realizamos la corrección estadística de los datos; para esto, adicionalmente realizamos la división de los datos en los dos subgrupos establecidos, encontrando que solo hay un espécimen perteneciente al sub grupo 1 con tres datos únicamente para cada propiedad, por lo tanto solo realizamos el análisis estadístico

para los datos del sub grupo 2; los hallazgos se muestran en las tablas de la serie 7.4 a continuación.

Finalmente, hallamos los valores probables de las tres propiedades para el sub grupo 2 mediante el procedimiento ya aplicado para los ensayos de flexión y tensión paralela:

Tabla 7,5: Valor probable para Esfuerzo L. P., Esfuerzo de rotura y Módulo de elasticidad percentil 10%

Esfuerzo L. P: Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2		Esfuerzo de Rotura Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	29,46 MPa	Media de la dispersión	36,95 MPa
Desviación estandar	4,98	Desviación estandar	6,80
Coeficiente de variación	16,91%	Coeficiente de variación	18,41%
Grados de libertad	15,00	Grados de libertad	16,00
Coeficiente t-student	1,3406	Coeficiente t-student	1,3368
Valor probable 90%	22,78 MPa	Valor probable 90%	27,86 MPa

Módulo de elasticidad Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	847,58 MPa
Desviación estandar	232,21
Coeficiente de variación	27,40%
Grados de libertad	12,00
Coeficiente t-student	1,3562
Valor probable 90%	532,66 MPa

Como se mencionó al principio de este apartado, los datos presentan demasiada disparidad, por lo tanto no fue posible establecer una ecuación de correlación para las propiedades de este ensayo ya que los coeficientes de correlación para todos los tipos de regresión efectuados quedaron muy cercanos a cero.

5.8. ENSAYO DE COMPRESION PERPENDICULAR EN PROBETAS - ESFUERZO AL 1% DE DEFORMACION, ESFUERZO AL LIMITE DE PROPORCIONALIDAD Y MODULO DE ELASTICIDAD

Para este ensayo se emplearon 27 probetas de madera de especímenes de la Fuente con longitud aproximada de 15 cm; al igual que en el ensayo de compresión paralela a la fibra, las probetas se cortaron de los perfiles adquiridos sin realizar ningún tipo de modificación a la sección transversal original; el único tratamiento que se realizó fue la extracción de los clavos y otros insertos para evitar accidentes en la manipulación de la probeta tanto en el corte como en la ejecución del ensayo; la falla de este ensayo no es explosiva por lo tanto no implica peligro para equipos o personal.

El ensayo de compresión perpendicular a la fibra está normalizado bajo la NTC 785; las medidas de las probetas según esta norma son 5 x 5 x 15 cm; las caras longitudinales deben ser paralelas a la fibra, dos caras opuestas deben ser radiales y dos tangenciales.

Nuestras probetas conservan la dirección de la fibra propia del espécimen y conservan también la

sección transversal original del espécimen, por lo tanto se empleó un accesorio metálico de gran espesor y de mayor tamaño que la sección del espécimen con el fin de aplicar la carga distribuida en todo el ancho de la probeta; los cálculos se ajustaron al área de contacto logrado por esta pieza metálica.

5.8.1. Protocolo para Ensayo de compresión perpendicular en probetas:

1. Equipo:

Marco de compresión del Laboratorio de estructura de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Deformímetro calibrado, apoyos metálicos, cámara fotográfica, Formatos para toma de datos.

2. Preparación de las probetas

Las probetas deben ser cortadas de los especímenes de la fuente con una longitud aproximada de 15 cm.

Teniendo en cuenta que la longitud máxima encontrada de los perfiles es de 2.50 m, las probetas deben extraerse de zonas en las cuales se presenten defectos tales como nudos, desviación del grano y otros que sean de especial relevancia en el estudio del espécimen.

La sección transversal de la probeta no se debe modificar

Mediante el uso de herramienta manual apropiada, se deben retirar del espécimen los elementos de sujeción como clavos, remaches, grapas y demás insertos antes de elaborar la probeta, para evitar accidentes que afecten a las personas o a las herramientas.

Las muestras deben identificarse con etiquetas adhesivas o con marcadores permanentes, registrando el número de espécimen, número de probeta, fecha de ensayo y tipo de ensayo.

3. Montaje del ensayo

Se marcará aproximadamente un eje central transversal de las probetas de aproximadamente 15 cm de longitud con un esfero de tinta en dos caras opuestas, sobre estos ejes se alinearán el elemento metálico de gran espesor y sobre este una platina que se considere rígida para montaje del deformímetro; una vez la probeta esté en su posición sobre la plataforma del marco de compresión, el operario realizará los ajustes necesarios de calibración y puesta en ceros.

En este ensayo no es muy representativo la inclusión de defectos como la inclinación de la fibra ya que el efecto es de compresión pura sobre las células de madera, por lo tanto no es necesario incluir los defectos en una posición determinada; sin embargo, los nudos de tamaño regular si deberían colocarse bajo la platina de compresión para tener en cuenta esta disminución o aporte de rigidez dependiendo del estado del nudo.

El embolo de carga se hará llegar hasta la platina del deformímetro manualmente tratando de ejercer una fuerza despreciable sobre esta.

Una vez el embolo este en posición, se coloca nuevamente en ceros la máquina y se inicia el proceso de carga y toma de datos.

4. Procedimiento de carga

La carga se aplica de tal manera que se produzca una deformación aproximada de 0.3 mm por minuto según la norma NTC 785; los datos de carga y deformación se tomaron constantes a intervalos de deformación de 0.10 mm registrados por el deformímetro; en los casos en que el deformímetro presenta saltos de lectura después del límite de proporcionalidad, los intervalos se tomaron ajustados a la siguiente lectura de deformación hasta un máximo de 5% de deformación de la probeta; finalmente, se falló la probeta hasta el nivel en que no hay incremento de carga para tomar una lectura de la carga última.

5. Registros del ensayo

Identificación de la probeta – Espécimen y numero de probeta

Datos de carga vs deformación

Registro fotográfico

Sección transversal promedio de la probeta	B x A
Area de placa de ensayo	Ap
Longitud total de la probeta	Lt
Peso seco de la porción cercana a la zona de falla	Ws
Peso húmedo de la porción cercana a la zona de falla	Wh
Masa de la probeta	m

6. Cálculos desarrollados

Contenido de humedad de la muestra	$CH = \frac{W_h - W_s}{W_s}$
Densidad húmeda	$\rho_h = \frac{m}{B \times A \times m}$
Densidad básica	$\rho_b = \frac{\rho_h}{1.04144}$
Gráfica carga – deformación	Con los datos experimentales
Carga última	P_u - Extraída de la gráfica
Carga al 1% de la deformación	$P_{1\%}$ - Extraída de la gráfica
Carga al límite de proporcionalidad	P_y - Extraída de la gráfica
Deformación al 1% de la deformación	$\delta_{1\%}$ - Extraída de la gráfica
Deformación al límite de proporcionalidad	δ_y - Extraída de la gráfica
Esfuerzo último	$f_u = \frac{P_u}{A_p}$
Esfuerzo al 1% de la deformación	$f_{1\%} = \frac{P_{1\%}}{A_p}$
Esfuerzo al límite de proporcionalidad	$f_y = \frac{P_y}{A_p}$
Módulo de elasticidad	$E = \frac{P_y \times B}{A_p \times \delta_y}$

El desarrollo del protocolo del ensayo de compresión para cada una de las probetas, se muestra con detalle en el ANEXO No 5 FORMATOS ENSAYO COMPRESION PERPENDICULAR LA FIBRA - NTC 785

5.8.2. Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad específica

El desarrollo detallado del procedimiento aplicado para los esfuerzos de compresión perpendicular se encuentra en el anexo No 11 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE COMPRESION PERPENDICULAR.

En las tablas 8.1 a 8.4 vemos los datos corregidos de esfuerzo de fluencia, esfuerzo al 1% de deformación y módulo de elasticidad a compresión para las probetas ensayadas y la aplicación del criterio de Chauvenet hasta la consecución de los valores probables de cada propiedad, los cuales se resumen en la tabla 8.5 que se reproduce a continuación:

En estos resultados vemos que los especímenes del sub grupo 1 tienen mejor comportamiento en compresión perpendicular que los del subgrupo No 2, su resistencia es mayor y el módulo de

elasticidad también lo es; esto puede deberse a que en el subgrupo No 1 transversalmente hay mayor densidad de madera por cada anillo comparado con el subgrupo No 2 que tiene anillos más delgados y mayor cantidad de lignina, mientras que los del subgrupo No 1 son anillos más gruesos y por lo tanto tiene mayor capacidad de deformación antes de la falla ya sea por compresión de las células de madera o de la lignina.

Tabla 8.5: Valor probable para Esfuerzo al 1% de la deformación, Esfuerzo L. P. y Módulo de elasticidad percentil 10%

Esfuerzo al 1% de deformación Grupo 1 - Sub grupo 1		Esfuerzo L. P. Grupo 1 - Sub grupo 1	
Media de la dispersión	2,42 MPa	Media de la dispersión	6,92 MPa
Desviación estandar	0,45	Desviación estandar	1,37
Coeficiente de variación	18,57%	Coeficiente de variación	19,85%
Grados de libertad	6,00	Grados de libertad	8,00
Coeficiente t-student	1,4398	Coeficiente t-student	1,3968
Valor probable 90%	1,77 MPa	Valor probable 90%	5,00 MPa

Módulo de elasticidad Grupo 1 - Sub grupo 1	
Media de la dispersión	253,67 MPa
Desviación estandar	81,32
Coeficiente de variación	32,06%
Grados de libertad	7,00
Coeficiente t-student	1,4149
Valor probable 90%	138,61 MPa

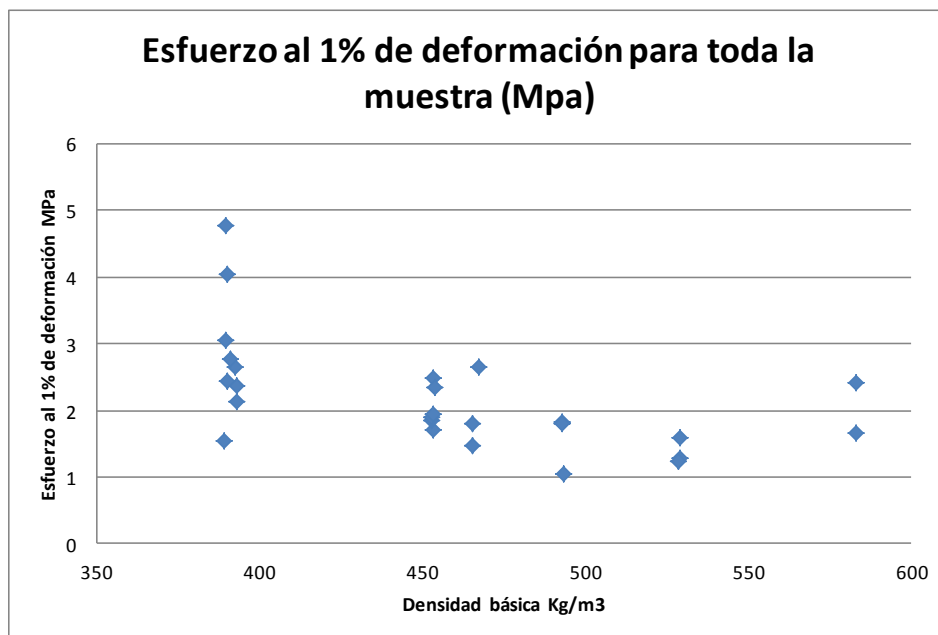
Esfuerzo al 1% de deformación Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2		Esfuerzo L. P. Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	1,84 MPa	Media de la dispersión	5,19 MPa
Desviación estandar	0,43	Desviación estandar	0,93
Coeficiente de variación	23,27%	Coeficiente de variación	17,97%
Grados de libertad	17,00	Grados de libertad	17,00
Coeficiente t-student	1,3334	Coeficiente t-student	1,3334
Valor probable 90%	1,27 MPa	Valor probable 90%	3,95 MPa

Módulo de elasticidad Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	159,82 MPa
Desviación estandar	53,30
Coeficiente de variación	33,35%
Grados de libertad	17,00
Coeficiente t-student	1,3334
Valor probable 90%	88,75 MPa

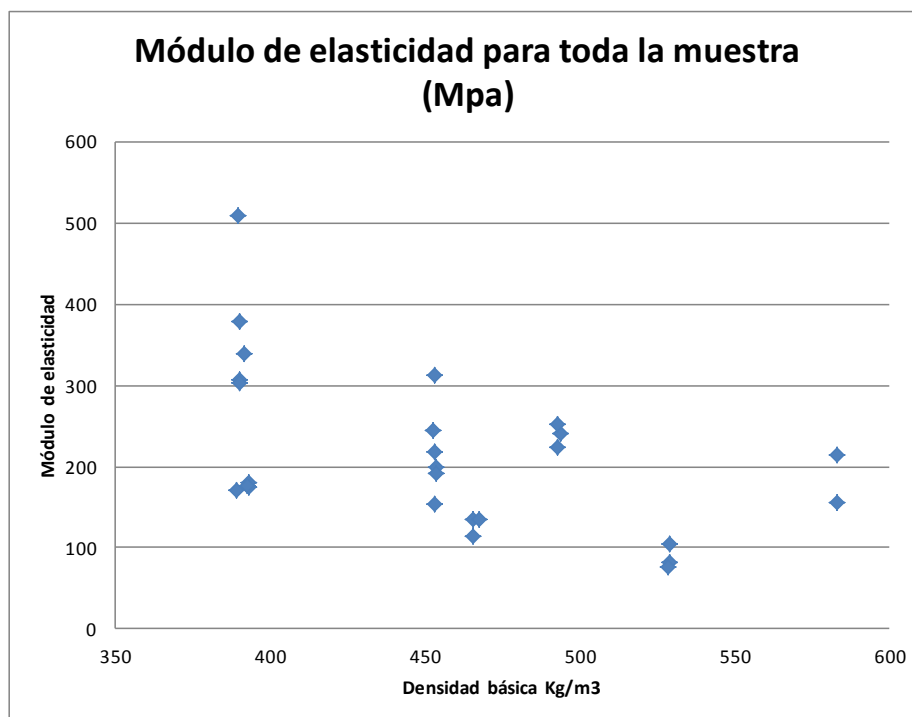
En este punto es importante resaltar que si estos datos son confiables como suponemos que lo son, el subgrupo 1 podría encajar dentro de la solución estructural trabajando a compresión perpendicular como por ejemplo una solera inferior o un sobre cimiento apoyado sobre una losa de concreto.

Las gráficas que representan la dispersión de los datos para estas tres propiedades se presentan a continuación, siendo “La Muestra, la totalidad e probetas ensayadas a compresión perpendicular a

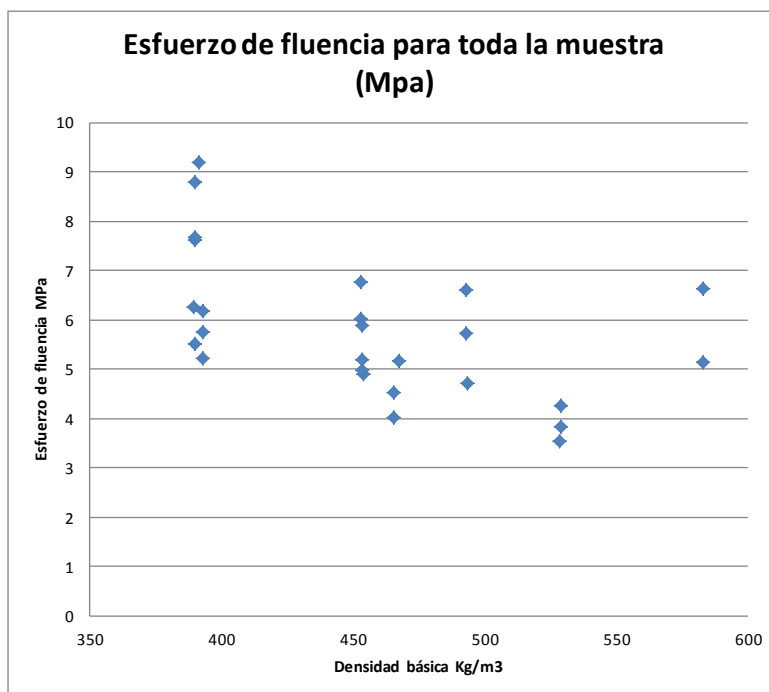
la fibra:



Gráfica No 9, Dispersión de datos para el esfuerzo al 1% de la deformación



Gráfica No 10, Dispersión de datos para el módulo de elasticidad



Gráfica No 11, Dispersión de datos para el esfuerzo de rotura

El comportamiento de la resistencia a compresión perpendicular es contrario a la expectativa de mayor resistencia a mayor densidad; esto se debe especialmente a que la resistencia en este ensayo la aporta la cantidad de células de madera que contenga la probeta; con esto se puede pensar que el hecho de tener anillos más gruesos implica que hay más madera y por lo tanto más capacidad de deformación de la probeta, por lo cual se necesita mayor energía para producir una determinada cantidad de deformación.

Como se puede ver en las gráficas de dispersión, los valores conservan una tendencia lineal horizontal, sin embargo la dispersión está muy alejada de la media muestral y se tienen valores con disparidad presentando para un valor de densidad, más de ocho valores de propiedad, por lo tanto las expresiones de relación encontradas no son representativas de la muestra; en las tablas 8.6.9, 8.6.10 y 8.6.11 se muestran las expresiones que relacionan la densidad con la propiedad buscada; su desarrollo se muestra con detalle en el anexo No 11:

Tabla 8.6.9 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores promedio de densidad y esfuerzo al 1% de deformación

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m ³)	Esfuerzo al 1% de deformación (Mpa)	Log Y	X Y	X ²	y ²
10	3	502,88	2,08	0,32	159,46	252891,65	0,10
11	1	393,00	2,38	0,38	148,04	154446,38	0,14
12	3	528,95	1,37	0,14	72,06	279784,58	0,02
13	2	493,26	1,56	0,19	94,60	243308,72	0,04
14	1	389,57	2,30	0,36	140,95	151764,78	0,13
15	2	453,10	1,82	0,26	117,58	205299,61	0,07
17	1	390,78	2,60	0,41	162,00	152709,01	0,17
18	2	466,30	1,97	0,29	137,55	217438,80	0,09
20	2	453,58	2,25	0,35	159,69	205734,82	0,12
Sumatorias		4071,42		2,70	1191,93	1863378,34	0,88

Número de datos	9
Pendiente de la recta	-0,001468038
Corte de la recta en las ordenadas	0,964636599
Coefficiente de correlación	-0,838639963

Termino independiente A	9,218
Coefficiente K	0,997

Tabla 8.6.10 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores promedio de densidad y esfuerzo L. P.

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m ³)	Esfuerzo de fluencia (Mpa)	Log Y	X Y	X ²	y ²
10	3	502,88	5,75	0,76	382,11	252891,65	0,58
11	1	393,00	5,72	0,76	297,70	154446,38	0,57
12	3	528,95	3,88	0,59	311,70	279784,58	0,35
13	2	493,26	5,68	0,75	371,96	243308,72	0,57
14	1	389,57	5,89	0,77	300,09	151764,78	0,59
15	2	453,10	6,00	0,78	352,63	205299,61	0,61
17	1	390,08	7,66	0,88	344,85	152158,51	0,78
18	2	466,30	4,58	0,66	308,05	217438,80	0,44
20	2	453,58	5,26	0,72	326,84	205734,82	0,52
Sumatorias		4070,72		6,67	2995,93	1862827,83	5,00

Número de datos	9
Pendiente de la recta	-0,001062344
Corte de la recta en las ordenadas	1,222117123
Coefficiente de correlación	-0,676145546

Termino independiente A	16,677
Coefficiente K	0,998

Tabla 8.6.11 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores promedio de densidad y módulo de elasticidad

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m ³)	Módulo de elasticidad (Mpa)	Log Y	X Y	X ²	y ²
10	3	502,88	188,65	2,28	1144,39	252891,65	5,18
11	1	393,00	176,70	2,25	883,16	154446,38	5,05
12	3	528,95	87,08	1,94	1026,13	279784,58	3,76
13	2	493,26	239,05	2,38	1173,22	243308,72	5,66
14	1	389,57	238,70	2,38	926,34	151764,78	5,65
15	2	453,10	251,50	2,40	1087,69	205299,61	5,76
17	1	390,53	340,63	2,53	988,93	152513,68	6,41
18	2	466,30	127,80	2,11	982,29	217438,80	4,44
20	2	453,58	188,52	2,28	1032,05	205734,82	5,18
Sumatorias		4071,17		20,53	9244,18	1863183,01	47,09

Número de datos	9
Pendiente de la recta	-0,002056204
Corte de la recta en las ordenadas	3,211670489
Coefficiente de correlación	-0,611125392

Termino independiente A	1628,060
Coefficiente K	0,995

Los coeficientes de correlación son de -0.8386, -0.6761 y -0.6111, muy poco confiables en especial los dos últimos; sin embargo como ejercicio y reiterando lo dicho anteriormente, estas expresiones no reflejan la realidad pero sirven para fijar límites adecuados dentro de los cuales pueden estar las propiedades de nuestros especímenes de la Fuente.

Dicho lo anterior, las expresiones son las siguientes:

$$F_{1\%} = 9.218(0.997)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

$$F_{LP} = 16.77(0.998)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

$$E = 1628.06(0.995)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

5.9. ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR EN PROBETAS – ESFUERZO ULTIMO

Para este ensayo se emplearon 21 probetas de madera de especímenes de la Fuente extraídas de cubos con dimensiones muy aproximadas a 50 mm de lado; las probetas se cortaron de los perfiles adquiridos y se maquinaron para obtener la forma descrita en la norma NTC 961; se realizó previamente la extracción de los clavos y otros insertos para evitar accidentes en la fabricación de la probeta y en la ejecución del ensayo; la falla de este ensayo en ocasiones puede llegar a ser explosiva pero no implica peligro para equipos o personal.

El ensayo de tracción perpendicular a la fibra está normalizado bajo la NTC 961; las medidas de las probetas según esta norma son 50 mm x 50 mm x 50 mm, de donde se extraen dos porciones circulares en un espesor completo del cubo con el fin de generar una sección de falla de unos 25 mm de espesor por 50 mm de longitud; el esquema de esta probeta se puede consultar en la norma NTC 961 o en el ANEXO No 6 FORMATOS ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA - NTC 961.

5.9.1. Protocolo para Ensayo de tracción perpendicular en probetas:

1. Equipo:

Maquina universal del Laboratorio de estructura de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Mordazas metálicas para el ensayo de tensión perpendicular, cámara fotográfica, Formatos para toma de datos.

2. Preparación de las probetas

Las probetas deben ser cortadas de los especímenes de la fuente de los cuales se

extrae una porción rectangular de 50 mm 50 mm x 100 mm; en la cara rectangular de la probeta se marcan dos ejes con 50 mm de separación y 25 mm al borde cada uno; en el centro de estos dos ejes se efectua una perforación de 25 mm de diámetro, finalmente, se corta la probeta por los dos ejes trazados con el fin de obtener la probeta de las dimensiones y forma normalizadas.

También es válido cortar dos probetas de un solo prisma por lo que es necesario que la cara rectangular sea de dimensiones tales que permitan realizar la cantidad de perforaciones necesarias para cortar las probetas.

Teniendo en cuenta que la longitud máxima encontrada de los perfiles es de 2.50 m, las probetas deben extraerse de zonas en las cuales se presenten defectos tales como nudos, desviación del grano y otros que sean de especial relevancia en el estudio del espécimen.

Las muestras deben identificarse con etiquetas adhesivas o con marcadores permanentes, registrando el número de espécimen, número de probeta, fecha de ensayo y tipo de ensayo.

3. Montaje del ensayo

Se montan las mordazas en la máquina universal y se monta en estas la probeta; el montaje de este ensayo es relativamente sencillo ya que las mordazas colocadas permanentemente en la máquina tienen una forma muy parecida y muy justa con la probeta del ensayo de tensión perpendicular; una vez la probeta esté en su posición entre las mordazas, el operario realizará los ajustes necesarios de calibración y puesta en ceros.

El embolo de carga con la mordaza móvil se hará llegar lentamente hasta su primer punto de ajuste tratando de ejercer una fuerza despreciable sobre la probeta a ensayar.

Es importante tener especial cuidado cuando se realice el procedimiento de ceros ya que la probeta es muy pequeña y la máquina ofrece una gran carga con poco movimiento del embolo de carga.

Una vez el embolo este en posición, se coloca nuevamente en ceros la máquina y se inicia el proceso de carga y toma de datos.

Es importante incluir en la zona de prueba de la probeta, algunos defectos como perforaciones o nudos de menor dimensión con el fin de incluir los efectos de una disminución en el área de tensión.

4. Procedimiento de carga

La carga se aplica de tal manera que se produzca una deformación aproximada de 2.5 mm por minuto; se lleva la probeta a falla y se toman los datos de carga última soportada por la probeta y las dimensiones de la misma.

5. Registros del ensayo

Identificación de la probeta – Espécimen y numero de probeta

Datos de carga ultima

Registro fotográfico

Volumen neto promedio de la probeta	B x A x L
Área de la zona de tensión	At
Peso seco de la porción cercana a la zona de falla	Ws
Peso húmedo de la porción cercana a la zona de falla	Wh
Masa de la probeta	m

6. Cálculos desarrollados

Contenido de humedad de la muestra	$CH = \frac{Wh - Ws}{Ws}$
Densidad húmeda	$\rho_h = \frac{m}{B \times A \times m}$
Densidad básica	$\rho_b = \frac{\rho_h}{1.04144}$
Esfuerzo último	$f_u = \frac{P_u}{A_T}$

El desarrollo del protocolo del ensayo de tensión perpendicular para cada una de las probetas, se muestra con detalle en el ANEXO No 6 FORMATOS ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA - NTC 961

5.9.2. Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad específica

El desarrollo detallado del procedimiento aplicado para los esfuerzos de compresión perpendicular se encuentra en el anexo No 12 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR.

En las tablas 9.1 a 9.4.2 vemos los datos corregidos del esfuerzo último para las probetas ensayadas y la aplicación del criterio de Chauvenet hasta la consecución de los valores probables de cada propiedad, los cuales se resumen en la tabla 9.4.3 que se reproduce a continuación:

**Tabla 9.4.3 Valor probable para Esfuerzo de rotura
percentil 10%**

Valor probable 95% para esfuerzo de Rotura Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	2,17 MPa
Desviación estandar	0,21
Coeficiente de variación	9,51%
Grados de libertad	19,00
Coeficiente t-student	1,3253
Valor probable 90%	1,90 MPa

En esta muestra de datos, solamente el espécimen 7 es del grupo de clasificación No 1 y debido a que los valores de esfuerzo son parecidos al del resto de la muestra, se realizó el análisis estadístico para la muestra completa.

Finalmente se determinó la expresión para esta propiedad en función de la densidad de la muestra; el procedimiento se muestra igualmente en el anexo No 12 con los resultados mostrados en la tabla 9.5.3 que se muestra a continuación:

Tabla 9.5.3 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores de densidad y esfuerzo de rotura

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m3)	Esfuerzo de rotura Y (Mpa)	Log Y	X Y	X^2	Y^2
2	19	2	490,54	2,07	4,14	4,00	4,28
	20	2	487,42	2,05	4,10	4,00	4,20
	21	2	489,77	2,23	4,46	4,00	4,97
4	16	3	519,02	2,29	6,86	9,00	5,23
	17	3	520,58	2,15	6,45	9,00	4,63
	18	3	519,78	2,35	7,04	9,00	5,50
5	7	2	448,58	2,04	4,07	4,00	4,15
	8	2	449,72	2,04	4,07	4,00	4,15
	9	2	449,42	2,10	4,21	4,00	4,43
6	13	2	450,20	2,49	4,99	4,00	6,21
	14	2	451,00	2,18	4,36	4,00	4,75
	15	2	443,50	2,49	4,99	4,00	6,21
7	10	1	428,50	2,03	2,03	1,00	4,11
	11	1	435,23	2,31	2,31	1,00	5,35
	12	1	430,34	2,28	2,28	1,00	5,21
8	4	3	555,78	2,23	6,70	9,00	4,99
	5	3	555,93	2,32	6,97	9,00	5,40
	6	3	554,27	2,33	7,00	9,00	5,45
Sumatorias		39,00		39,99	87,03	93,00	89,22

Número de datos	25
Pendiente de la recta	0,766455918
Corte de la recta en las ordenadas	0,403898683
Coeficiente de correlación	0,864860669

Termino independiente A	2,535
Coeficiente K	5,841

El coeficiente de correlación hallado es de 0.8649, el cual resulta de baja magnitud.

La expresión que representaría esta propiedad está dada por:

$$F_u = 8.841(2.535)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

5.10. ENSAYO DE CORTE PARALELO EN PROBETAS – ESFUERZO ULTIMO

Para este ensayo se emplearon 21 probetas de madera de especímenes de la Fuente extraídas de prismas con dimensiones muy aproximadas a 50 x 50 x 75 mm de lado; las probetas se cortaron de los perfiles adquiridos y se maquinaron para obtener aproximadamente la forma descrita en la norma NTC 775 ya que se cortaron con una altura un poco mayor; al igual que los ensayos realizados y descritos anteriormente, se realizó previamente la extracción de los clavos y otros insertos para evitar accidentes en la fabricación de la probeta y en la ejecución del ensayo; la falla de este ensayo puede ser explosiva pero por el montaje en el aparato de ensayo no implica peligro para equipos o personal.

El ensayo de corte paralelo a la fibra está normalizado bajo la NTC 775; las medidas de las probetas según esta norma son 50 mm x 50 mm x 62.5 mm, sin embargo, para emplear el equipo Tinius Olsen del laboratorio de estructuras de la Universidad Nacional, decidimos aumentar la altura de la probeta a 75 mm, lo cual provee mayor estabilidad lateral a la probeta; el área de prueba es igual a la establecida en la NTC 775.

5.10.1. Protocolo para Ensayo de corte paralelo en probetas:

1. Equipo:

Marco de compresión del Laboratorio de estructura de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.

Equipo para ensayo de corte paralelo marca Tinius Olsen, cámara fotográfica, Formatos para toma de datos.

2. Preparación de las probetas

Las probetas deben ser cortadas de los especímenes de la fuente de los cuales se extrae una porción prismática de 50 mm x 50 mm x 75 mm; en una de las caras de 75 mm se debe hacer una incisión para extraer un bloque de 25 x 50 x 20 mm generando un escalón en la probeta que permite definir el área sometida a cortante de dimensiones 50 x 50 mm.

Teniendo en cuenta que la longitud máxima encontrada de los perfiles es de 2.50 m, las probetas deben extraerse de zonas en las cuales se presenten defectos tales como nudos, desviación del grano y otros que sean de especial relevancia en el estudio del espécimen.

Esta última condición es similar para algunas otras probetas ya que las dimensiones del espécimen permitieron obtener insumos para diferentes ensayos.

Las muestras deben identificarse con etiquetas adhesivas o con marcadores permanentes, registrando el número de espécimen, número de probeta, fecha de ensayo y tipo de ensayo.

3. Montaje del ensayo

En la prensa de compresión del laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional Sede Bogotá, se monta el equipo de corte marca Tinius Olsen con el cual se desarrolla el ensayo de corte paralelo; este equipo posee una rotula inferior sobre la cual se monta la probeta para evitar ejercer esfuerzos de flexión en la pared de la zona de falla.

Se monta la probeta sobre la rótula y se colocan platinas de ajuste entre los tornillos que la sujetan y la probeta con el fin de acomodar la probeta paralelamente al equipo de corte y sujetarla mientras comienza el proceso de carga.

El embolo de carga se hace llegar lentamente al elemento móvil del equipo de carga de manera que se ejerza una presión despreciable sobre este; se pone en ceros el dial del embolo y se inicia a cargar la probeta.

Es importante incluir algunos defectos como pequeños nudos o perforaciones durante la elaboración de la probeta para incluir el efecto de disminución de área en la zona de corte.

4. Procedimiento de carga

La norma NTC 775 indica que la carga debe aplicarse de manera que la cuña de falla se desplace a razón de 0.6 mm/s, sin embargo este desplazamiento no es posible ajustarlo con precisión ya que la falla del corte paralelo no tiene un efecto dúctil sino que es una falla súbita de la sección, por lo tanto se aplicó la carga a razón de 50 psi por segundo aproximadamente.

Se tomen los datos de carga última.

5. Registros del ensayo

Identificación de la probeta – Especimen y numero de probeta

Datos de carga ultima

Registro fotográfico

Ancho, longitud y altura de la probeta

a, b, c

Espesor de la probeta	d
Altura de la zona de corte	e
Area de la zona de corte	a x e
Volumen de la probeta	a x b x c – a(b – d)(c – e)
Peso seco de la porción cercana a la zona de falla	Ws
Peso húmedo de la porción cercana a la zona de falla	Wh
Masa de la probeta	m

6. Cálculos desarrollados

Contenido de humedad de la muestra	$CH = \frac{Wh - Ws}{Ws}$
Densidad húmeda	$\rho_h = \frac{m}{Volumen}$
Densidad básica	$\rho_b = \frac{\rho_h}{1.04144}$
Esfuerzo último	$f_u = \frac{P_u}{A_T}$

El desarrollo del protocolo del ensayo de corte paralelo para cada una de las probetas, se muestra con detalle en el ANEXO No 7 FORMATOS ENSAYO DE CORTE PARALELO A LA FIBRA - NTC 775

5.10.2. Estimación del valor probable y de las relaciones Propiedad – Gravedad específica

El desarrollo detallado del procedimiento aplicado para el esfuerzo último a corte paralelo se encuentra en el anexo No 13 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE CORTE PARALELO.

En las tablas 10.1 a 10.4 se describen los datos corregidos del esfuerzo último para las probetas ensayadas y la aplicación del criterio de Chauvenet hasta la consecución del valor probable de del esfuerzo último a corte paralelo, el cual se resume en la tabla 10.5 que se reproduce a continuación:

Tabla 10.5 Valor probable para Esfuerzo de rotura percentil 10%

Valor probable 90% para Esfuerzo de rotura Grupos 2 y 3 - Sub grupo 2	
Media de la dispersión	8,39 MPa
Desviación estandar	1,73
Coefficiente de variación	20,64%
Grados de libertad	20,00
Coefficiente t-student	1,3253
Valor probable 90%	6,10 MPa

Nuevamente, solo el espécimen 7 es del grupo de clasificación No 1 y debido a que los valores de esfuerzo son parecidos al del resto de la muestra, se realizó el análisis estadístico para la muestra completa.

La expresión para esta propiedad en función de la densidad de la muestra arroja un coeficiente de correlación de 0.96; en la tabla 10.6 se muestra el cálculo de los términos que definen la ecuación:

Tabla 10.6 Determinación de los coeficientes A y K mediante el uso de los valores de densidad y esfuerzo de rotura

Espécimen	Grupo de clasificación	Densidad corregida X (Kg/m ³)	Esfuerzo de rotura Y (Mpa)	Log Y	X Y	X ²	Y ²
1	1	449,76	6,36	6,36	-2,04	4,15	Aceptado
	2	451,98	6,70	6,70	-1,69	2,87	Aceptado
	3	450,88	5,57	5,57	-2,83	8,00	Aceptado
2	19	490,54	10,09	2,07	1014,40	240631,40	4,28
	20	487,42	7,09	2,05	999,18	237579,49	4,20
	21	489,77	8,36	2,23	1091,98	239878,35	4,97
4	16	519,02	5,95	2,29	1187,37	269383,57	5,23
	17	520,58	7,67	2,15	1119,83	271000,70	4,63
	18	519,78	7,92	2,35	1219,51	270171,56	5,50
5	7	448,58	9,31	2,04	913,51	201224,74	4,15
	8	449,72	9,88	2,04	915,84	202251,19	4,15
	9	449,42	7,98	2,10	946,00	201974,91	4,43
6	13	450,20	7,36	2,49	1122,27	202683,25	6,21
	14	451,00	6,84	2,18	982,70	203401,49	4,75
	15	443,50	7,10	2,49	1105,56	196693,41	6,21
7	10	428,50	9,24	2,03	868,39	183614,69	4,11
	11	435,23	9,38	2,31	1006,65	189428,55	5,35
	12	430,34	10,04	2,28	982,58	185189,80	5,21
8	4	555,78	10,75	2,23	1241,72	308889,78	4,99
	5	555,93	12,06	2,32	1291,86	309060,58	5,40
	6	554,27	10,62	2,33	1293,51	307216,35	5,45
Sumatorias		8679,60		39,99	19302,85	4220273,81	89,22

Número de datos	21
Pendiente de la recta	0,004384334
Corte de la recta en las ordenadas	0,092142642
Coefficiente de correlación	0,964622251

Termino independiente A	1,236
Coefficiente K	1,010

La expresión que representaría esta propiedad está dada por:

$$F_u = 1.236(1.010)^{\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)}$$

5.11. RESUMEN DE LAS PROPIEDADES ENCONTRADAS

De los ensayos y análisis realizados sobre los especímenes de madera de La Fuente, determinamos paquetes de resultados que corresponden a los sub grupos de clasificación 1 y 2; estos paquetes de resultados se muestran en la tabla 11.0.

Debido a que para el ensayo de compresión paralela no se realizaron suficientes ensayos sobre los especímenes del Grupo 1 sub grupo 1, se completó la información con base en el porcentaje de variación del ensayo de flexión entre subgrupo 1 y sub grupo 2; si bien esta metodología no tiene mayor fundamento científico, se realizó a modo de información para tener un punto de referencia de este grupo de clasificación recordando que se han descartado estos especímenes para uso estructural por diferentes razones entre las que se encuentra su madurez biológica, baja densidad, baja resistencia mecánica de las otras propiedades estudiadas.

En las tablas 11.0 y 11.1 se muestra el resumen de propiedades y expresiones encontradas para cada ensayo y propiedad:

Tabla 11,0 Valores adoptados de las propiedades mecánicas de los especímenes de la Fuente

ENSAYO	SUB GRUPO	FLP	Fu	E
Flexión en probetas	1	14,86 MPa	18,79 MPa	2553,05 MPa
	2	19,11 MPa	37,47 MPa	5700,60 MPa
Compresión perpendicular a la fibra	1	5,00 MPa	F1% 1,77 MPa	138,61 MPa
	2	3,95 MPa	F1% 1,27 MPa	88,75 MPa
Compresión paralela a la fibra	1	14,65 MPa	11,30 MPa	257,00 MPa
	2	18,84 MPa	22,53 MPa	573,85 MPa

ENSAYO	SUB GRUPO	Fu
Tensión perpendicular a la fibra	2	1,90 MPa
Corte paralelo a la fibra	2	6,10 MPa
Tensión paralela a la fibra	2	4,67 MPa

Tabla 11,1 Expresiones encontradas para densidad (ρ) vs propiedad mecánica (F)

ENSAYO	F _{lp}	F _u	E
Flexión en probetas	$F_y = 10.442(1.002) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$	$F_r = 1.264(1.008) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$	$MOE = 1.643(1.018) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$
Compresión perpendicular a la fibra	$F_y = 16.77(0.998) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$	$F_{1\%} = 9.218(0.997) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$	$E = 1628.06(0.995) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$

ENSAYO	F _u
Tensión perpendicular a la fibra	$F_u = 8.841(2.535) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$
Corte paralelo a la fibra	$F_u = 1.236(1.010) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$
Tensión paralela a la fibra	$F_u = 0.125(1.010) \left(\frac{\rho}{1.04144} \right)$

El profesor Jaime Salazar Contreras de la Universidad Nacional de Colombia, en su libro “**Maderas Colombianas, Propiedades y criterios de diseño**”, menciona la necesidad de convertir los valores

probables a Valores Básicos aplicando factores de ajuste en los cuales se considera la duración de carga normal y factores de seguridad; la norma sismo resistente NSR-10 también menciona los valores de corrección y estos tienen que ver con la duración de la carga, los defectos biológicos del material, temperatura y condiciones geométricas del perfil y su instalación; en la figura 10 se muestra la expresión de la norma NSR-10 con la cual se aplican los factores de modificación de la resistencia de la madera;

Estos coeficientes de la norma NSR-10 se deben aplicar a nuestros especímenes con base en cada una de las consideraciones; sin embargo, convertir los valores probables a valor básico aplicando los factores de ajuste mencionados por el profesor Salazar, resulta muy conservador teniendo en cuenta que las probetas empleadas para realizar los ensayos de esta investigación incluyeron la mayor cantidad de defectos apreciables contenidos en los especímenes y su estudio incluye los efectos de disminución de resistencia propios de su existencia; resulta aún conservador tener en cuenta el factor “N” de modificación de la norma NSR-10 por desviación del grano por la misma razón de haber efectuado todos los ensayos con probetas que incluyen este defecto así como el defecto de nudos, sin embargo, estos dos defectos no pueden ser promediados ni caracterizados en un valor específico que represente la totalidad de la Fuente, por lo tanto se deberían aplicar para el uso de los valores de las propiedades mecánicas para diseño.

$$F'_i = F_i C_D C_m C_t C_L C_F C_{fu} \dots$$

En donde

- F_i = esfuerzo básico para la sollicitación i
- C_D = coeficiente de modificación por duración de la carga.
- C_m = coeficiente de modificación por contenido de humedad.
- C_t = coeficiente de modificación por temperatura.
- C_L = coeficiente de modificación por estabilidad lateral de vigas.
- C_F = coeficiente de modificación por forma.
- C_{fu} = coeficiente de modificación por uso en cara ancha.
- C_{in} = coeficiente de modificación por incisiones.
- C_R = coeficiente de modificación por acción de conjunto.
- C_p = coeficiente de modificación por estabilidad de columnas.
- C_T = coeficiente de modificación por rigidez al pandeo.
- C_b = coeficiente de modificación por área de soporte.

Figura 10. Extracto de la norma NSR-10 sobre factores de modificación de resistencia

Con base en esto, los valores de la tabla 11.0, representan las propiedades mecánicas que hemos establecido para emplear la madera de la Fuente en el diseño de una estructura de uno o dos pisos para uso como vivienda; al final de este documento se realiza un ejercicio de análisis estructural de una vivienda de un piso con altillo en el cual se aplican los perfiles de madera disponibles en la Fuente, esto servirá como base para validar los datos de valor probable en una etapa posterior donde se construya la casa diseñada previo a haber diseñado las conexiones apropiadas de elementos.

CAPITULO 6

DESARROLLO DE LA CARACTERIZACION DE LOS ESPECIMENES METALICOS

Se desconoce el material de los perfiles tubulares metálicos sin embargo podemos inferir que su procedencia sea Japón o Norteamérica al igual que la procedencia de los contenedores de piezas mecánicas.

A la fuente llegan los contenedores completos, los cuales son despiezados en perfiles metálicos tubulares y en los perfiles de madera ya estudiados; el almacenaje de estos perfiles se realiza clasificándolos por su sección transversal, longitud y por el estado físico que presentan.

Prevalecen dos longitudes aproximadas de 2.30 m y 1.55 m en promedio, cada grupo de longitud es separado en perfiles en buen estado y en mal estado.

Estos perfiles hacen parte de la estructura fuerte de contenedores metálicos, en estos vienen soldados pegados o remachados, los diferentes elementos metálicos y plásticos que conforman estanterías dentro de los contenedores, por lo tanto al despiezarlos, es posible que los perfiles se dañen por rasgado o por cizallamiento cuando los operarios de limpieza retiran las partes unidas con poco o ningún cuidado como se muestra en las fotografías 60 a 63, es así que los perfiles que conservan parte de la punta de los elementos unidos a ellos, permanecen en buen estado, mientras que aquellos a los que arrancan los elementos unidos, presentan defectos de rasgado, aplastamiento o doblado, o una mezcla de los anteriores y por lo tanto son almacenados en otro tipo de grupo.

Sin importar si los perfiles presentan o no defectos como los descritos anteriormente, su precio es aproximadamente el mismo por Kg, lo cual determina un factor importante a la hora de escoger materiales.

Se debe tener especial atención en esta labor, ya que perfiles con defectos obviamente no pueden

ser utilizados en la estructura portante de una vivienda. Adicionalmente, los perfiles que a simple vista no presenten defectos, podrían presentar micro fisuras en las zonas de conexión.

Las imágenes que se ven a continuación, representan lo explicado en cuanto a los perfiles metálicos que se encuentran en la Fuente.



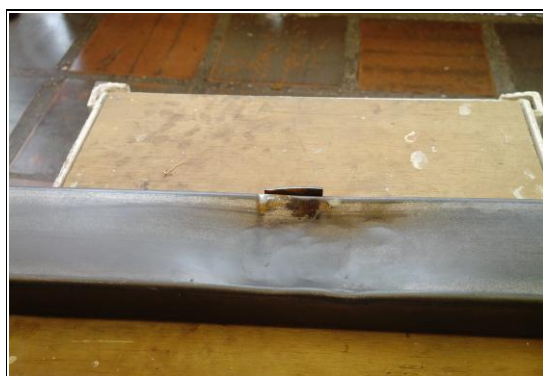
Fotografía 60, Rasgado por oxicorte



Fotografía 61, Corte o rasgado por pulidora



Fotografía 62, Aplastamiento en extremo



Fotografía 63, aplastamiento en el cuerpo

6.1. Selección de los especímenes

El proceso de muestreo consistió en la escogencia al azar, de perfiles metálicos de sección 60 mm x40 mm directamente del almacenamiento en la fuente, se escogieron perfiles solamente en buen estado. A diferencia de los especímenes de madera de la Fuente, los perfiles metálicos, están hechos a partir de un material que se considera más homogéneo y por lo tanto su estudio es mucho más sencillo, sin embargo, teniendo perfiles que se encuentran en muy buen estado y que su costo es el mismo de perfiles afectados, no tiene sentido emplear materiales metálicos con defectos evidentes.

Se escogieron ocho perfiles de secciones transversales diferentes para realizar en ellos los ensayos especificados para su caracterización los cuales fueron definidos como análisis químico por absorción y ensayo de tensión en probetas; estos perfiles se identificaron con la letra "S" seguida

de un número de 1 al 8 para identificar las probetas de cada ensayo.

6.2. CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL DEL PERFIL METÁLICO DISPONIBLE EN LA FUENTE

Al igual que los perfiles de madera, estos perfiles metálicos fueron empleados como material para la fabricación de cajas para embalaje y no para construcciones, por lo tanto, de nuevo la tarea de esta investigación es revisar su capacidad estructural y lograr emplear estos materiales en nuestras construcciones rurales AES.

Al igual que el material de la madera, nuestros perfiles metálicos han recibido alguna transformación durante su vida como material de embalaje, pero a diferencia de nuestros especímenes ya estudiados de madera, los perfiles metálicos es posible que presenten maltrato, deformaciones o sobreesfuerzos que no sean subsanables mediante procesos de transformación como si sucede con la madera, de la cual se mencionó que mediante procesos como el cepillado, corte de las puntas etc., se retiraban deformaciones como duramen quebradizo, nudos, arista faltante, alabeo etc.

Es importante entender que el perfil metálico si bien es un elemento de mayor facilidad de estudio y empleo, debe escogerse de manera que se pueda descartar el uso de perfiles con defectos visibles, ya que son estos los que van a disminuir la capacidad mecánica del elemento.

Las características físicas de los perfiles indican que el material es pesado, de color brillante, tiene presencia de grasa parecida a la que tienen los perfiles de acero laminado cuando se adquieren en un proveedor a gran escala y que le da al material un matiz oscuro, la tonalidad de la superficie indica que puede ser un perfil laminado en frío a partir de algún tipo de metal ferroso con contenido de carbón

El perfil tiene una costura de soldadura por inducción eléctrica, es decir, puede ser un acero al carbono y de ser así, seguramente debe tener propiedades mecánicas bien definidas, de acuerdo a lo anterior, el material puede ser un acero de tipo estructural o de los que se emplean para piezas mecánicas; es decir que este material tiene gran potencial de uso, pero debe escogerse con mucho cuidado ya que si sus propiedades mecánicas han sido deterioradas por la manipulación y el despiece, una falla puede presentarse de manera súbita incluso para cargas pequeñas como son las de uso de una vivienda rural.

Para nuestro propósito de incluir estos materiales en una estructura AES, nos interesa saber básicamente con qué material estamos tratando, a partir de eso seguramente conoceremos sus propiedades mecánicas, sabemos de la literatura su resistencia de acuerdo a su sección y a los métodos de diseño convencionales y aplicamos unos factores de seguridad apropiados a su sollicitación teniendo en cuenta al igual que la madera, que son elementos de reciclaje y que no se debe desconocer que tienen una historia de esfuerzos.

6.3. CLASIFICACIÓN VISUAL POR DEFECTOS PARA PERFIL METÁLICO ESTRUCTURAL

Para clasificar uno de estos perfiles metálicos como estructural o no, vamos a definir tres parámetros muy sencillos de clasificación visual también con el fin de facilitar la escogencia de los perfiles por personal no capacitado como los propietarios que efectúen auto construcción o construcción progresiva:

- Deformación longitudinal
- Aplastamiento local
- Rasgado o corte localizado

1. Deformación longitudinal

Cuando el elemento presenta una deformación permanente, esta puede ser originada en el maltrato que sufre cuando está siendo despiezada la caja o contenedor del que hizo parte; puede haberse dado por doblamiento mecánico o por calor de corte y este defecto implica pérdida de resistencia si se usa el elemento especialmente a compresión y a flexión si la deformación se coloca en el sentido de las cargas verticales; a tensión y cortante no reviste mayor problema siempre que no hayan esfuerzos residuales en el material, lo cual es imposible predecir en una clasificación visual, por lo tanto debemos dar un valor de deflexión máxima permisible para clasificar este defecto.

2. Aplastamiento local

Algunos perfiles presentan aplastamiento en una o en todas sus caras, este defecto se localiza en especial en los extremos o en los sitios donde hay elementos de conexión como platinas o perforaciones; si el elemento tiene aplastamiento en los extremos, esto puede ser retirado mediante corte con sierra y el único efecto inducido es que se reduce la longitud del perfil, sin embargo, si el aplastamiento se encuentra dentro del cuerpo del perfil, esto implica tener que cortar una gran porción del mismo, que seguramente lo hará inutilizable; adicionalmente, el presentar aplastamiento indica que una zona cercana al defecto tiene esfuerzos residuales por encima de la fluencia del material, por lo tanto no bastará con retirar el material aplastado sino al menos unos diez milímetros más para garantizar que el material restante se encuentra en condiciones elásticas. Por lo tanto este defecto se traduce en descarte de la pieza si se encuentra dentro del cuerpo del perfil.

3. Rasgado o corte localizado

Al igual que el aplastamiento local, este defecto se localiza en los sitios donde hay elementos de conexión como platinas soldadas o perforaciones para pernos o remaches; estos conectores en muchas ocasiones son retirados por herramientas eléctricas de abrasión como lo son las pulidoras con disco para metal; a veces los operarios realizan el corte de la platina o del perno sin dañar en el perfil, pero en otras ocasiones, el descuido hace que la herramienta corte una de las esquinas del perfil; también este despiece se realiza con equipo de oxicorte y de la misma manera que la pulidora, el descuido hace que se desgarre una de las esquinas del perfil donde se encuentra el conector.

Este defecto en general debe descartar el elemento ya que si se realizó con pulidora, los conectores de platina soldada están en el cuerpo y por lo tanto el corte implica despedazar el perfil para poder emplearlo obteniendo tramos de apenas unos 40 o 45 cm que solamente se pueden emplear para patas de muebles, por otra parte, si el despiezado se realizó con equipo de oxicorte, seguramente además del desgarre de material, tenemos sobre calentamiento de la pieza con la correspondiente pérdida de ductilidad que esto implica y obviamente si el desgarre es dentro del cuerpo del perfil tendríamos también otra gran cantidad de patas para muebles.

6.3.1. CARACTERIZACION VISUAL DE LOS ESPECIMENES DE LA FUENTE

Al igual que los especímenes de madera, la elección de los perfiles metálicos se hizo de manera aleatoria, sacando de cada punto de almacenamiento tal como lo haría un persona que acude al sitio de fuente de material a comprar perfiles metálicos reciclados sin tener ningún conocimiento previo de la utilización ni experiencia en la compra de este tipo de material.

La clasificación visual de los perfiles metálicos se basa en la calificación de los tres defectos de la siguiente manera:

4. Se debe asignar un puntaje de 1 a 10 al perfil que presente deformación longitudinal o mejor llamada encorvadura teniendo en cuenta el siguiente criterio:
Según el AISC 303-05 Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges, la curvatura de un elemento que será sometido a compresión debe ser igual o menor que $1/1000$; para vigas que son diseñadas sin curvatura, en el momento de montaje, las curvaturas accidentales deben quedar hacia arriba y para las vigas que se diseñan con curvatura, esta no debe ser mayor de 13 mm para vigas de 15000 mm de longitud o menores y se puede aumentar 3 mm o fracción por cada 1.20 m adicionales de longitud de la viga.
También esta curvatura es posible corregirla mediante el calentamiento de las piezas para enderezarlas o mediante medios mecánicos que incluyen realizar perforaciones para conectar y empujar el elemento.
5. Se debe asignar un puntaje de 1 a 10 al perfil que presente aplastamiento localizado teniendo en cuenta su longitud y la localización del defecto.
6. Se debe asignar un puntaje de 1 a 10 al perfil que presente rasgado o corte localizado teniendo en cuenta su longitud, método de extracción y la localización del defecto.

Nuevamente insistimos en que los perfiles por ser elementos de reciclaje y haber tenido en algunos casos maltrato por el despiezado a que han sido sometidos, presentan deformaciones que pueden ser mayores a las permitidas en el AISC 303-05, adicionalmente no sabemos si el perfil seleccionado se va a emplear como viga o columna o como parte de una cercha por lo tanto las calificaciones son dadas así:

Figura 11: Obtención de puntaje para clasificación visual de perfiles metálicos

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Puntaje mínimo	Puntaje máximo
Elemento sin despiezar	de 8 a 10	8	10
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10	6	10
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10	6	10
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10	7	10
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9	7	9
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7	7	7
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6	0	6
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8	6	8
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6	0	6
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8	6	8
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6	0	6

En esta figura de clasificación, simplemente el perfil que obtenga calificación 6 o menor queda descartado para emplearse dentro de la estructura; el parámetro de 16 mm lo adoptamos con el fin de no castigar totalmente los perfiles que se encuentren con una deformación algo mayor que la permitida después del montaje, esto soportado en que el AISC 303-05 permite enderezarlos por calor o por medios mecánicos; sin embargo, enderezar una deformación mayor puede implicar esfuerzos residuales antes de su puesta en funcionamiento.

Los perfiles que obtengan una calificación de 7 a 10, serían usados para conformar la estructura de la vivienda y su calificación puede dar una ayuda para saber si se ubica como viga, columna o elemento de cercha; esta calificación una vez sea superior a 7 se puede volver muy superflua y requerir del criterio de quien seleccione para su aplicación.

Nuevamente encontramos una situación similar con los especímenes de madera en cuanto a que un perfil metálicos que por sus defectos sea clasificado como no estructural, no implica que sea desechado, sino que puede ser empleado en la fabricación de otros elementos constitutivos de la vivienda como muebles y puertas, esto obviamente implica que el material debe someterse ya a grandes procesos de modificación que incluyen corte, pre-armado, soldadura y pintura con mano de obra calificada, pero que aun así continúan siendo económicos frente a elementos fabricados con materia prima de primera calidad.

La figura No 12 muestra el formato que puede emplearse para la clasificación visual de perfiles metálicos que encontramos en la fuente, para los perfiles que escogimos no realizamos esta clasificación ya que las probetas que se extrajeron no incluyeron los defectos mencionados por no ser de relevancia en el estudio del material.

Figura 12: Formato de clasificación visual para especímenes metálicos

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO																																																											
<div style="border: 1px solid black; height: 80px; margin-bottom: 10px; text-align: center; line-height: 80px;">FOTOGRAFIAS DEL PERFIL METALICO</div>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Identificación</td> <td>MA-01</td> </tr> <tr> <td>Fecha de obtención</td> <td>Octubre 21 - 2012</td> </tr> <tr> <td>Tipo de perfil</td> <td>Paral de madera</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>218,6 cm</td> </tr> <tr> <td>Base</td> <td>6,8 cm</td> </tr> <tr> <td>Altura</td> <td>7,8 cm</td> </tr> <tr> <td>Espesor</td> <td>0,0 cm</td> </tr> <tr> <td>Grupo de clasificación</td> <td>1</td> </tr> </table>			Identificación	MA-01	Fecha de obtención	Octubre 21 - 2012	Tipo de perfil	Paral de madera	Longitud	218,6 cm	Base	6,8 cm	Altura	7,8 cm	Espesor	0,0 cm	Grupo de clasificación	1																																								
Identificación	MA-01																																																										
Fecha de obtención	Octubre 21 - 2012																																																										
Tipo de perfil	Paral de madera																																																										
Longitud	218,6 cm																																																										
Base	6,8 cm																																																										
Altura	7,8 cm																																																										
Espesor	0,0 cm																																																										
Grupo de clasificación	1																																																										
FOTOGRAFIAS DEL PERFIL METALICO																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 35%;">Pámetro de clasificación</th> <th style="width: 15%;">Rango de calificación</th> <th style="width: 35%;">Observación del estado del espécimen</th> <th style="width: 15%;">Calificación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Elemento sin despiezar</td> <td>de 8 a 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elemento despiezado sin conectores retirados</td> <td>de 7 a 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elemento con conectores retirados sin otro defecto</td> <td>de 7 a 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Curvatura menor a 1/1000</td> <td>de 7 a 10</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm</td> <td>de 7 a 9</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm</td> <td>7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Curvatura mayor a 16 mm</td> <td>de 0 a 6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elemento con conectores retirados con oxicorte</td> <td>de 0 a 8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Defecto unicamente en los extremos</td> <td>de 7 a 8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Defecto en el cuerpo del perfil</td> <td>de 0 a 6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Elemento con conectores retirados con pulidora</td> <td>de 0 a 8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Defecto unicamente en los extremos</td> <td>de 7 a 8</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Defecto en el cuerpo del perfil</td> <td>de 0 a 6</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación	Elemento sin despiezar	de 8 a 10			Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10			Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10			Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10			Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9			Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7			Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6			Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8			Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8			Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6			Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8			Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8			Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación																																																								
Elemento sin despiezar	de 8 a 10																																																										
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10																																																										
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10																																																										
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10																																																										
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9																																																										
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7																																																										
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6																																																										
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8																																																										
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8																																																										
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6																																																										
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8																																																										
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8																																																										
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6																																																										
Aplicabilidad: Estructural si la calificación menor es 7 o superior No estructural si la calificación menor es 6 o inferior Rechazado a criterio del calificador		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">Puntaje mínimo obtenido por el espécimen</td> <td>0,0</td> </tr> <tr> <td>Aplicabilidad del espécimen</td> <td>Estructural</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Observaciones:</td> </tr> </table>		Puntaje mínimo obtenido por el espécimen	0,0	Aplicabilidad del espécimen	Estructural	Observaciones:																																																			
Puntaje mínimo obtenido por el espécimen	0,0																																																										
Aplicabilidad del espécimen	Estructural																																																										
Observaciones:																																																											

6.4. ENSAYOS EFECTUADOS SOBRE LOS ESPECIMENES METALICOS DE LA FUENTE

Para identificar el tipo de material del que están hechos los perfiles, acudimos a la aplicación del análisis químico por absorción en el laboratorio de Materiales de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional Sede Bogotá; con este análisis se encontró la composición química del metal y los resultados se compararon con tablas de composición de aleaciones de productos metálicos de la norma SAE - AISI y se estableció el tipo de material ferroso.

Adicionalmente se realizó la extracción manual de probetas de los mismos perfiles metálicos y se realizó un ensayo de tensión destructivo sobre estas.

Estas dos pruebas efectuadas al material de los perfiles, las consideramos complementarias entre sí; los resultados son muy interesantes ya que el método de extracción de probetas para el ensayo de tensión indujo en algunas de ellas defectos en la zona de prueba que afectaron el comportamiento mecánico del material, por lo tanto algunas validan los resultados del análisis químico y otras nos ayudan a estimar un factor de seguridad aplicable a los diseños con el material reciclado.

6.5. ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN QUÍMICA MEDIANTE ABSORCIÓN ATÓMICA

Este análisis se basa en el estudio de la radiación electromagnética que absorbe o emite un átomo cuando es sometido a una fuente de excitación lumínica; esto es la espectroscopia; el científico Prusiano Gustav Robert Kirchhoff formuló la base de la espectroscopia como « cualquier materia que pueda emitir luz a una cierta longitud de onda también absorberá luz a esa longitud de onda ».

El estado fundamental de un átomo indica que se encuentra en un estado de configuración electrónica estable con un mínimo de contenido de energía; cuando es sometido a una excitación con un aumento de energía se configura un estado electrónico inestable; el átomo tiende a regresar a su estado de mínimo contenido de energía emitiendo una radiación de determinada frecuencia que es característica de cada átomo en particular según la teoría de Kirchhoff.

La frecuencia de la energía radiante emitida corresponde a la diferencia de energía entre el estado excitado (E_1) y el estado fundamental (E_0) esto según la ecuación de Planck está dado por:

$$E = E_1 - E_0 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Donde:

h	Constante de Planck
ν	Frecuencia
c	Velocidad de la luz
λ	Longitud de onda

En la absorción atómica se mide la absorción de la radiación de resonancia que se presenta cuando el átomo pasa del estado fundamental al primer estado excitado; esto se logra sometiendo un grupo de átomos libres en estado fundamental a radiación, estos absorberán únicamente la radiación que tenga una determinada longitud de onda y lo harán proporcionalmente a su concentración atómica, lo cual quiere decir que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de las especies absorbentes.

La metodología del procedimiento es la siguiente:

A la muestra de metal se le aplica un disparo de calor de tal intensidad que se funde el material mediante una mezcla de gas oxidante y gas combustible que proporcione la

energía necesaria para la combustión, a este primer paso se le denomina nebulización atómica

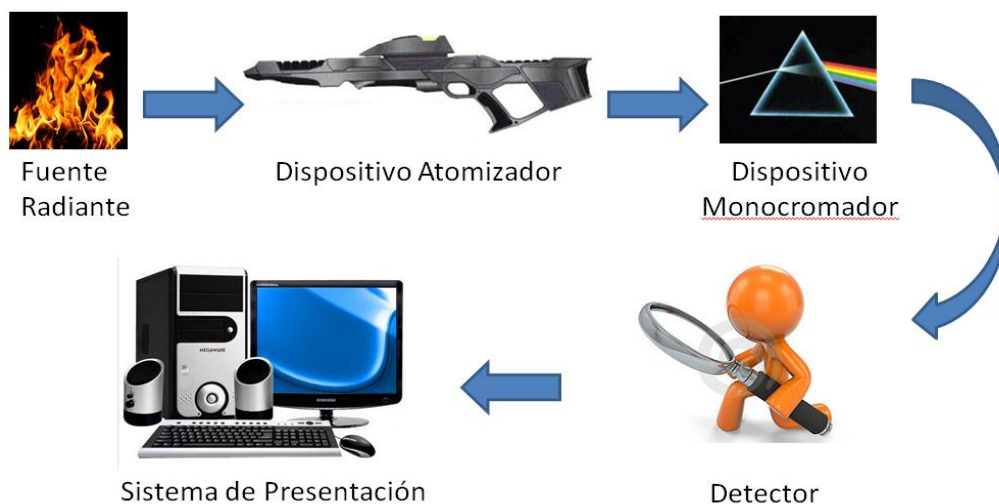
Las partículas pulverizadas del material se han excitado mediante la radiación lumínica que produce la combustión de un quemador o una lámpara catódica o una lámpara de descarga de electrones.

La emisión de radiación de las partículas pasa a través de un monocromador que se encarga de dirigir el haz de luz emitida al equipo detector.

Por último el detector capta la señal del monocromador y la convierte en una señal electrónica con un valor numérico conceptualizado.

La máquina de análisis químico del laboratorio de materiales de la Facultad de ingeniería Mecánica fue la empleada para realizar el análisis químico de nuestros perfiles metálicos por el método de absorción atómica.

Figura 13: Esquema de aplicación del análisis por absorción atómica



Preparación de probetas

Como se mencionó en el inciso anteriormente, las probetas se extrajeron de 8 perfiles metálicos de la Fuente de los cuales se recortaron segmentos de seis centímetros de longitud; estos se limpiaron manualmente mediante abrasión con papel de lija de diferente granulometría hasta eliminar la grasa y el color oscuro del material; el nivel de limpieza al que se llegó fue aproximadamente de metal blanco; la razón de efectuar esta limpieza es la de eliminar cualquier impureza que genere errores en la atomización del material e induzca componentes que no hacen parte del metal.

Esta limpieza se efectuó solamente por una de las caras, la que no tiene el cordón de soldadura, ya que solamente se necesita una superficie para realizar las quemas del análisis; una vez hecha la

limpieza, se recortaron las dos caras que fueron colocadas en la máquina de tal manera que quedaron dos platinas de aproximadamente 6 x 6 cm.

Debido al espesor de las platinas que es aproximadamente 1.5 mm, se montaron en la máquina la platina limpia sobre la platina sin limpiar, esto con el fin de evitar dañar la base de la máquina en caso de que la quema traspasara la platina de muestra.

6.5.1. Aplicación del análisis químico por absorción a las probetas extraídas

Para la aplicación del ensayo de análisis químico contamos con la autorización del ingeniero Edgar Espejo Mora, jefe de laboratorio del departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional sede Bogotá, esta autorización se dio para las 24 probetas de 8 especímenes; el analista Jhon Jairo Castañeda fue quien realizó el procedimiento y operó el equipo para el análisis químico de las probetas.

Los resultados del equipo de análisis químico se imprimen en una impresora de punto en una hoja tamaño carta en la cual se incluye la información del estudiante, del analista, del jefe de laboratorio, la identificación de la probeta, los porcentajes encontrados en el análisis divididos en tres quemas y por último el contenido promedio de cada elemento de composición.

A estas hojas de resultados, se les escaneo para digitalizarlas, se les añadió las fotografías de las probetas ensayadas y un título; pero no se enmendaron ni adulteraron los resultados; se editaron de la forma mencionada para facilitar su visualización.

A continuación se muestran los resultados de la aplicación del análisis realizado a 8 probetas de los perfiles metálicos de la Fuente tomados para el estudio:

CLASIFICACION DE ACERO POR ANALISIS QUIMICO

```

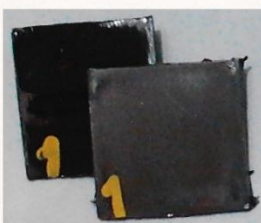
STORE DATA      : 1191
ORDEN DE TRABAJO : 02300353
COMPANIA         : ESTUDIANTE UN
ENTERANTE        : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
FIRMA ANALISTA   : JHON JAIR CASTANEDA
ANALISTA         : JHON JAIR CASTANEDA
FIRMA JEFE LAB   : ING. EDGAR ESPEJO MORA
JEFE LABORATORIO : ING. EDGAR ESPEJO MORA
REFERENCIA       : MUESTRA 1
Alloy            : LAS2010      Mode : PA      4-Jun-2013      Time 15:23

Burn 1
Fe 99.586  C 0.070  Mn 0.238  P < 0.001  S < 0.001
Si 0.006   Cu 0.014  Ni 0.015  Cr 0.016  V 0.000
Mo 0.006   W < 0.005  Co 0.001  Ti 0.001  Sn < 0.001
Al 0.044   Nb < 0.002  B < 0.0001  Pb < 0.002  Mg < 0.000

Burn 2
Fe 99.582  C 0.071  Mn 0.247  P < 0.001  S < 0.001
Si 0.007   Cu 0.015  Ni 0.015  Cr 0.016  V 0.000
Mo 0.007   W < 0.005  Co 0.002  Ti 0.001  Sn < 0.001
Al 0.037   Nb < 0.002  B < 0.0001  Pb 0.002  Mg < 0.000

Burn 3
Fe 99.578  C 0.072  Mn 0.248  P < 0.001  S < 0.001
Si 0.007   Cu 0.015  Ni 0.015  Cr 0.016  V 0.001
Mo 0.007   W < 0.005  Co 0.002  Ti 0.001  Sn < 0.001
Al 0.036   Nb < 0.002  B < 0.0001  Pb 0.003  Mg < 0.000

Average
Fe 99.582  C 0.071  Mn 0.244  P < 0.001  S < 0.001
Si 0.007   Cu 0.015  Ni 0.015  Cr 0.016  V 0.000
Mo 0.006   W < 0.005  Co 0.002  Ti 0.001  Sn < 0.001
Al 0.039   Nb < 0.002  B < 0.0001  Pb 0.002  Mg < 0.000
    
```



CLASIFICACION DE ACERO POR ANALISIS QUIMICO

STORE DATA : 1192
 ORDEN DE TRABAJO : 02300353
 COMPANIA : ESTUDIANTE UN
 ENTERANTE : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
 FIRMA ANALISTA : JHON JAIRO CASTANEDA.
 ANALISTA : JHON JAIRO CASTANEDA.
 FIRMA JEFE LAB : ING. EDGAR ESPEJO MORA
 JEFE LABORATORIO : MUESTRA 2
 REFERENCIA : LAS2010 Mode : PA 4-Jun-2013 Time 15:25

Burn 1
 Fe 99.568 C 0.073 Mn 0.249 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.007 Cu 0.016 Ni 0.015 Cr 0.016 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.040 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000
 >gM >gM >gM >gM >gM

Burn 2
 Fe 99.557 C 0.078 Mn 0.255 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.007 Cu 0.016 Ni 0.015 Cr 0.016 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.039 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000
 >gM >gM >gM >gM >gM

Burn 3
 Fe 99.551 C 0.075 Mn 0.257 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.008 Cu 0.016 Ni 0.015 Cr 0.017 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.003 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.042 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.005 Mg < 0.000
 >gM >gM >gM >gM >gM

Average
 Fe 99.559 C 0.075 Mn 0.254 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.008 Cu 0.016 Ni 0.015 Cr 0.016 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.040 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000
 >gM >gM >gM >gM >gM



CLASIFICACION DE ACERO POR ANALISIS QUIMICO

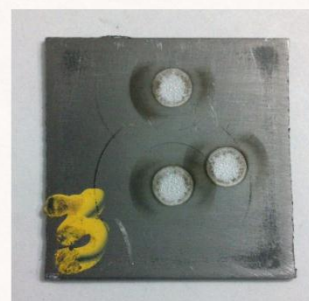
STORE DATA : 1193
 ORDEN DE TRABAJO : 02300353
 COMPANIA : ESTUDIANTE UN
 ENTERANTE : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
 FIRMA ANALISTA : JHON JAIR CASTANEDA
 ANALISTA : JHON JAIR CASTANEDA
 FIRMA JEFE LAB :
 JEFE LABORATORIO : ING. EDGAR ESPEJO MORA
 REFERENCIA : MUESTRA 3
 Alloy : LAS2010 Mode : PA 4-Jun-2013 Time 15:28

Burn 1
 Fe 99.577 C 0.067 Mn 0.250 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.007 Cu 0.015 Ni 0.015 Cr 0.016 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.038 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000

Burn 2
 Fe 99.560 C 0.074 Mn 0.256 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.008 Cu 0.016 Ni 0.015 Cr 0.016 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.040 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000

Burn 3
 Fe 99.551 C 0.072 Mn 0.260 P 0.002 S < 0.001
 Si 0.008 Cu 0.016 Ni 0.015 Cr 0.017 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.003 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.040 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg 0.000

Average
 Fe 99.563 C 0.071 Mn 0.255 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.007 Cu 0.016 Ni 0.015 Cr 0.016 V 0.001
 Mo 0.007 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.040 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000



CLASIFICACION DE ACERO POR ANALISIS QUIMICO

STORE DATA : 1194
 ORDEN DE TRABAJO : 02300353
 COMPANIA : ESTUDIANTE UN
 ENTERANTE : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
 FIRMA ANALISTA :
 ANALISTA : JHON JAIRO CASTANEDA.
 FIRMA JEFE LAB :
 JEFE LABORATORIO : ING. EDGAR ESPEJO MORA
 REFERENCIA : MUESTRA 4
 Alloy : LAS2010 Mode : PA 4-Jun-2013 Time 15:32

Burn 1
 Fe 99.053 C 0.145 Mn 0.692 P < 0.001 S < 0.001
 Si 0.004 Cu 0.008 Ni 0.016 Cr 0.014 V 0.001
 Mo 0.008 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.047 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.007 Mg < 0.000

Burn 2
 Fe 99.067 C 0.135 Mn 0.690 P 0.002 S < 0.001
 Si 0.003 Cu 0.009 Ni 0.016 Cr 0.013 V 0.001
 Mo 0.008 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.046 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.007 Mg < 0.000

Burn 3
 Fe 99.036 C 0.137 Mn 0.705 P 0.004 S < 0.001
 Si 0.004 Cu 0.009 Ni 0.017 Cr 0.014 V 0.001
 Mo 0.009 W < 0.005 Co 0.003 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.048 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.009 Mg < 0.000

Average
 Fe 99.052 C 0.139 Mn 0.696 P 0.002 S < 0.001
 Si 0.004 Cu 0.009 Ni 0.017 Cr 0.014 V 0.001
 Mo 0.008 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.047 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.008 Mg < 0.000



CLASIFICACION DE ACERO POR ANALISIS QUIMICO

```

STORE DATA      : 1195
ORDEN DE TRABAJO : 02300353
COMPANIA         : ESTUDIANTE UN
ENTERANTE        : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
FIRMA ANALISTA   : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
ANALISTA         : JHON JAIR CASTANEDA.
FIRMA JEFE LAB   : JHON JAIR CASTANEDA.
JEFE LABORATORIO : ING. EDGAR ESPEJO MORA
REFERENCIA       : MUESTRA 5
Alloy            : LAS2010      Mode : PA      4-Jun-2013 Time 15:35

Burn 1
Fe 99.072      C 0.135      Mn 0.687      P 0.002      S <0.001
Si 0.004      Cu 0.008      Ni 0.016      Cr 0.013      V 0.001
Mo 0.008      W 0.005      Co 0.002      Ti 0.001      Sn 0.001
Al 0.044      Nb 0.002      B 0.0001     Pb 0.007      Mg 0.000
000.0 gH      000.0 gP      1000.0 gB      000.0 gPb      000.0 gMg

Burn 2
Fe 99.061      C 0.134      Mn 0.697      P 0.004      S <0.001
Si 0.004      Cu 0.008      Ni 0.016      Cr 0.013      V 0.001
Mo 0.008      W 0.005      Co 0.002      Ti 0.001      Sn 0.001
Al 0.044      Nb 0.002      B 0.0001     Pb 0.007      Mg 0.000
000.0 gH      000.0 gP      1000.0 gB      000.0 gPb      000.0 gMg

Burn 3
Fe 99.043      C 0.135      Mn 0.704      P 0.005      S <0.001
Si 0.004      Cu 0.009      Ni 0.017      Cr 0.014      V 0.001
Mo 0.008      W 0.005      Co 0.003      Ti 0.001      Sn 0.001
Al 0.046      Nb 0.002      B 0.0001     Pb 0.008      Mg 0.000
000.0 gH      000.0 gP      1000.0 gB      000.0 gPb      000.0 gMg

Average
Fe 99.059      C 0.135      Mn 0.696      P 0.004      S <0.001
Si 0.004      Cu 0.008      Ni 0.016      Cr 0.013      V 0.001
Mo 0.008      W 0.005      Co 0.002      Ti 0.001      Sn 0.001
Al 0.045      Nb 0.002      B 0.0001     Pb 0.007      Mg 0.000
000.0 gH      000.0 gP      1000.0 gB      000.0 gPb      000.0 gMg
    
```



CLASIFICACION DE ACERO POR ANALISIS QUIMICO

STORE DATA : 1197
 ORDEN DE TRABAJO : 02300353
 COMPANIA : ESTUDIANTE UN
 ENTERANTE : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
 FIRMA ANALISTA :
 ANALISTA : JHON JAIR CASTANEDA.
 FIRMA JEFE LAB :
 JEFE LABORATORIO : ING. EDGAR ESPEJO MORA
 REFERENCIA : MUESTRA 7
 Alloy : LAS2010 Mode : PA 4-Jun-2013 Time 15:41

Burn 1
 Fe 99.496 C 0.070 Mn 0.256 P 0.010 S 0.006
 Si 0.005 Cu 0.019 Ni 0.018 Cr 0.034 V 0.001
 Mo 0.013 W < 0.005 Co 0.003 Ti 0.001 Sn 0.001
 Al 0.058 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.005 Mg 0.000

Burn 2
 Fe 99.513 C 0.071 Mn 0.249 P 0.011 S 0.006
 Si 0.005 Cu 0.018 Ni 0.018 Cr 0.033 V 0.001
 Mo 0.012 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.054 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000

Burn 3
 Fe 99.500 C 0.067 Mn 0.255 P 0.012 S 0.006
 Si 0.005 Cu 0.019 Ni 0.018 Cr 0.034 V 0.001
 Mo 0.013 W < 0.005 Co 0.003 Ti 0.001 Sn 0.001
 Al 0.056 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.005 Mg 0.000

Average
 Fe 99.503 C 0.069 Mn 0.253 P 0.011 S 0.006
 Si 0.005 Cu 0.019 Ni 0.018 Cr 0.034 V 0.001
 Mo 0.013 W < 0.005 Co 0.003 Ti 0.001 Sn 0.001
 Al 0.056 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.005 Mg 0.000



CLASIFICACION DE ACERO POR ANALISIS QUIMICO

STORE DATA : 1198
 ORDEN DE TRABAJO : 02300353
 COMPANIA : ESTUDIANTE UN
 ENTERANTE : VICTOR HUGO ENRIQUEZ
 FIRMA ANALISTA :
 ANALISTA : JHON JAIRO CASTANEDA.
 FIRMA JEFE LAB :
 JEFE LABORATORIO : ING. EDGAR ESPEJO MORA
 REFERENCIA : MUESTRA B
 Alloy : LAS2010 Mode :PA 4-Jun-2013 Time 15:44

Burn 1
 Fe 99.496 C 0.082 Mn 0.249 P 0.012 S 0.007
 Si 0.005 Cu 0.018 Ni 0.018 Cr 0.034 V 0.001
 Mo 0.012 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn 0.001
 Al 0.057 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000

Burn 2
 Fe 99.527 C 0.068 Mn 0.246 P 0.012 S 0.006
 Si 0.004 Cu 0.017 Ni 0.017 Cr 0.033 V 0.001
 Mo 0.012 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.050 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.003 Mg < 0.000

Burn 3
 Fe 99.523 C 0.066 Mn 0.248 P 0.013 S 0.006
 Si 0.004 Cu 0.018 Ni 0.017 Cr 0.033 V 0.001
 Mo 0.012 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.052 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000

Average
 Fe 99.515 C 0.072 Mn 0.248 P 0.012 S 0.006
 Si 0.004 Cu 0.018 Ni 0.017 Cr 0.033 V 0.001
 Mo 0.012 W < 0.005 Co 0.002 Ti 0.001 Sn < 0.001
 Al 0.053 Nb < 0.002 B < 0.0001 Pb 0.004 Mg < 0.000



6.5.2. Descripción de los resultados

A cada platina muestra o probeta se le realizaron tres quemas, en la hoja de resultados se tabula la composición química detectada por cada quema y al final un promedio con el cuál se determina la composición química y el tipo de material; en la tabla 12.1 se tabula la composición promedio encontrada para cada muestra:

Tabla 12.1 Composición promedio de cada muestra

Símbolo	Elemento	EM 1	EM 2	EM 3	EM 4	EM 5	EM 6	EM 7	EM 8
Fe	Hierro	99.5820	99.5590	99.5630	99.0520	99.0590	99.0390	99.5030	99.5150
Si	Silicio	0.0070	0.0080	0.0070	0.0040	0.0040	0.0040	0.0050	0.0040
Mo	Molibdeno	0.0060	0.0070	0.0070	0.0080	0.0080	0.0090	0.0130	0.0120
Al	Aluminio	0.0390	0.0400	0.0400	0.0470	0.0450	0.0460	0.0560	0.0530
C	Carbono	0.0710	0.0750	0.0710	0.1390	0.1350	0.1320	0.0690	0.0720
Cu	Cobre	0.0150	0.0160	0.0160	0.0090	0.0080	0.0090	0.0190	0.0180
W	Wolframio	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050	0.0050
Nb	Niobio	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020
Mn	Manganeso	0.2440	0.2540	0.2550	0.6960	0.6960	0.7110	0.2530	0.2480
Ni	Níquel	0.0150	0.0150	0.0150	0.0170	0.0160	0.0170	0.0180	0.0170
Co	Cobre	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0020	0.0030	0.0030	0.0020
B	Boro	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
P	Fosforo	0.0001	0.0010	0.0010	0.0020	0.0040	0.0060	0.0110	0.0120
Cr	Cromo	0.0160	0.0160	0.0160	0.0140	0.0130	0.0140	0.0340	0.0330
Ti	Titánio	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
Pb	Paladio	0.0020	0.0040	0.0040	0.0080	0.0070	0.0080	0.0050	0.0040
S	Azufre	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0060	0.0060
V	Vanadio	0.0000	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
Sn	Estaño	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010
Mg	Magnesio	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Composición total		100.0092	100.0081	100.0081	100.0091	100.0081	100.0091	100.0051	100.0061
Porcentaje de error		0.0092%	0.0081%	0.0081%	0.0091%	0.0081%	0.0091%	0.0051%	0.0061%

El error de sumatoria encontrado en cada muestra obedece a aquellos elementos que no se pueden cuantificar por su bajo contenido y están identificados en las hojas de resultados como menores a, como ejemplo el contenido de Boro en el promedio de la muestra 8: B < 0.001.

Pese al error que se encuentra y debido a que es muy pequeño, no implica una mayor importancia ya que los elementos de interés tienen un contenido que está bien definido, estos elementos de interés en el estudio del material son el Hierro, Carbono, Silicio, Manganeso, Fosforo y Azufre.

6.5.3. CLASIFICACIÓN DEL ACERO SEGÚN NORMA SAE – AISI

Se distinguen dentro de la composición del acero cinco elementos considerados como esenciales para la constitución del acero al carbono junto con el hierro, estos son Carbono, Silicio, Manganeso, Fosforo y Azufre; cuando el acero está constituido en gran parte por estos elementos se dice que es un acero **no aleado**, mientras que si contienen cantidades importantes de otros elementos, se dice que es un acero **aleado**; estos otros elementos que son frecuentemente empleados para fabricar el acero son, Níquel, cromo, Vanadio, Wolframio, Molibdeno, Cobalto,

Silicio, Cobre, Titanio, Circonio, Plomo, Selenio Aluminio, Boro y Niobio.

Cada uno de los elementos mencionados, en proporciones adecuadas, generan en el acero comportamientos característicos de cada elemento, es así que se pueden fabricar aceros con propiedades específicas para el uso que va a tener como por ejemplo aceros muy resistentes y dúctiles para construcción de edificios, aceros muy resistentes y maleables para fabricación de piezas torneadas, o aceros de gran dureza y tenacidad para piezas de máquinas; estas propiedades dependen de la concentración de cada uno de los elementos presentes en la aleación, también los elementos de aleación tienen influencia en el tamaño del grano, en las temperaturas críticas para los tratamientos térmicos, en la capacidad de enfriamiento rápido o lento después del tratamiento térmico y con estos últimos, influyen también en la resistencia a ataques químicos, a la corrosión, mejor resistencia al calor y a la abrasión etc.

De los resultados del análisis químico de nuestros materiales, podemos deducir inicialmente que tenemos algún tipo de aleación de acero al carbono ya que en las hojas de resultados se tabulan los porcentajes de 20 elementos contenidos en las muestras, que están dentro de los elementos que mencionamos como los más frecuentes en la fabricación de acero; en el sistema SAE – AISI, los aceros se clasifican con base en su composición química y en el tratamiento térmico que se les aplique, la denominación se hace con cuatro o cinco dígitos, los dos primeros corresponden a los dos elementos de aleación más importantes y los dos o tres últimos corresponden a la cantidad de carbono presente en la aleación; todos los aceros que comienzan con 10, significa que son aceros comunes al carbono con aleación de Manganeso, por ejemplo un acero 1020 es un acero normal al carbono que tiene hasta 0.20% de contenido de carbono, mientras que un acero 2530 sería una aleación principal de Níquel, Cromo en proporciones importantes y un contenido de 0.30% de carbono (lo anterior a modo de explicación).



Las convenciones para el primer dígito son las siguientes:

- 1 – Manganeso
- 2 – Níquel
- 3 – Níquel - Cromo
- 4 – Molibdeno
- 5 – Cromo
- 6 – Cromo – Vanadio
- 8 – Níquel – Cromo – Molibdeno, principal aleante el Molibdeno
- 9 – Níquel – Cromo - Molibdeno, principal aleante el Níquel

Como ya se mencionó, existe una gran cantidad de variaciones en los componentes de la aleación de acero y de igual forma, en las características mecánicas del acero resultante; en la tabla 12.2 se muestran las composiciones típicas de los aceros según la clasificación SAE – AISI y UNS.

Tabla 12.2 Clasificación de los aceros sistemas SAE, AISI, UNS, según su composición química

DESIGNACION		PORCENTAJE DE ALEACION DEL ACERO
AISI - SAE	UNS	
10XX	G10XXX	Aceros al carbono comunes
11XX	G11XXX	Aceros maquinados con alto contenido de S
12XX	G12XXX	Aceros maquinados con alto contenido de P y S
13XX	G13XXX	Aceros al manganeso, 1.75%Mn
15XX	G15XXX	Aceros al manganeso, con Mn > 1%
40XX	G40XXX	Aceros al molibdeno con 0.25% Mo
41XX	G41XXX	Aceros al cromo molibdeno con 0.40% a 1.10% Cr y 0.08% a 0.35% Mo
43XX	G43XXX	Aceros al Ni - Cr - Mo, con 1.65% a 2.00% Ni, 0.40% a 0.90% Cr y 0.20% a 0.30% Mo
46XX	G46XXX	Aceros al Ni - Mo, con 0.70% a 2.00% Ni y 0.15% a 0.30% Mo
47XX	G47XXX	Aceros al Ni - Cr - Mo, con 1.05% Ni, 0.45% Cr y 0.20 Mo
48XX	G48XXX	Aceros al Ni - Mo, con 3.25% Ni y 0.20% a 0.30% Mo
51XX	G51XXX	Aceros al cromo, con 0.70% a 1.10% Cr
E51100	G51986	Aceros al cromo fabricados en horno eléctrico, con 1.00% Cr
E52100	G52986	Aceros al cromo fabricados en horno eléctrico, con 1.45% Cr
61XX	G61XXX	Aceros al Cr - V 0.60% a 0.95% Cr y 0.10% V como mínimo
86XX	G86XXX	Aceros al Ni - Cr - Mo, con 0.55% Ni, 0.50% Cr y 0.20 Mo
87XX	G87XXX	Aceros al Ni - Cr - Mo, con 0.55% Ni, 0.50% Cr y 0.25 Mo
88XX	G88XXX	Aceros al Ni - Cr - Mo, con 0.55% Ni, 0.50% Cr y 0.30 Mo
'9260	G92XXX	Aceros al silicio, con 1.80% a 2.20% Si
50BXX	G50XXX	Aceros al cromo con 0.205 a 0.60% Cr y 0.0005% a 0.003% Boro
51B60	G51601	Aceros al cromo con 0.80% Cr y 0.0005% a 0.003% Boro
81B45	G81B51	Aceros al Ni - Cr - Mo, con 0.30% Ni, 0.45% Cr y 0.12 Mo y 0.0005% a 0.003% boro
94BXX	G94XXX	Aceros al Ni - Cr - Mo, con 0.45% Ni, 0.40% Cr y 0.12 Mo y 0.0005% a 0.003% boro

Para identificar los aceros dentro de una de las denominaciones de la tabla 12.2, comenzaremos por analizar el contenido de los siete elementos principales de aleación y sus combinaciones que están enumeradas de 1 a 9; la número 7 no se incluyó en la lista ya que pertenece a aceros muy resistentes al calor que ya no se producen actualmente de manera comercial; como segundo paso identificaremos las cantidades de Azufre y fósforo y por último, la cantidad de carbono de la aleación; con esto trataremos de enmarcar nuestros materiales dentro de la tabla de clasificación específica que no reproducimos aquí debido a que es demasiado extensa.

Primer paso: Contenido de siete elementos principales de aleación

De la tabla 12.1 extraemos la información para la identificación de los materiales; a continuación se muestra la tabla 12.3 que contiene el resumen de resultados para los siete elementos principales de aleación:

Tabla 12.3 Composición promedio de los siete elementos principales de aleación de cada muestra

Símbolo	Elemento	EM 1	EM 2	EM 3	EM 4	EM 5	EM 6	EM 7	EM 8
Si	Silicio	0.0070	0.0080	0.0070	0.0040	0.0040	0.0040	0.0050	0.0040
Mo	Molibdeno	0.0060	0.0070	0.0070	0.0080	0.0080	0.0090	0.0130	0.0120
Mn	Manganeso	0.2440	0.2540	0.2550	0.6960	0.6960	0.7110	0.2530	0.2480
Ni	Níquel	0.0150	0.0150	0.0150	0.0170	0.0160	0.0170	0.0180	0.0170
B	Boro	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
Cr	Cromo	0.0160	0.0160	0.0160	0.0140	0.0130	0.0140	0.0340	0.0330
V	Vanadio	0.0000	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010

- El Boro se encuentra en cantidad inferior a 0.0005 y otros componentes tampoco cumplen la cantidad especificada, con lo cual descartamos las designaciones **50BXX, 51B60, 81B45 y 94BXX**.
- El contenido de Silicio es muy inferior al 1.00%, por lo tanto descartamos la denominación **9260**.
- El Molibdeno se encuentra en cantidad inferior a 0.15 y otros componentes tampoco cumplen la cantidad especificada, con lo cual descartamos las designaciones **40XX, 43XX, 46XX, 47XX, 48XX, 86XX, 87XX y 88XX**.
- El Vanadio es muy inferior a 0.15 con lo cual descartamos la denominación **61XX**.
- El cromo es muy inferior a la unidad y adicionalmente no hay certeza en si estuvo en una fundición de horno eléctrico, por lo cual están descartadas las denominaciones **E51100, E52100 y 51XX**.
- El Cromo se encuentra en menor proporción del 0.40% con lo cual descartamos la denominación **41XX**.
- El Manganeso está por debajo de la unidad con lo cual quedan descartadas las denominaciones **13XX y 15XX**.

Lo anterior implica que el material de nuestros perfiles sea probablemente un acero común al carbono; esto es fácilmente identificable teniendo en cuenta el alto contenido de hierro que no permite contenidos de otros elementos por encima de la unidad.

Segundo paso: Contenido de Azufre y Fósforo

El fosforo y el azufre aumentan la maquinabilidad del acero, sin embargo para la aplicación que buscamos, esta propiedad no nos interesa, adicionalmente, la presencia excesiva de estos dos elementos disminuye la resistencia del acero a la corrosión; el fósforo aumenta un poco propiedades mecánicas como la dureza, el límite de elasticidad y la resistencia final, pero el Azufre genera también planos de falla al reaccionar con el manganeso y formar sulfuros de manganeso que aumenta su maquinabilidad pero pueden llegar a disminuir la ductilidad del material, por lo cual su presencia no es del todo agradable.

El contenido normal de azufre en un acero al carbono es está entre 0.012% y 0.022%; un aumento muy apreciable en este elemento puede generar los efectos descritos anteriormente; el Azufre forma sulfuros de manganeso de la forma MnS, por lo cual si el manganeso está en igual o mayor proporción con el Azufre se puede decir que este último estaría estabilizado mientras que el contenido del sulfuro de manganeso no sea muy alto; un contenido de Fósforo entre 0.08% y 0.12% se considera normal para aceros fácilmente maquinables.

En nuestros perfiles metálicos encontramos que las cantidades de Fosforo llega al 0.012% y de Azufre al 0.006 mientras que el contenido de Manganeso es del orden de mínimo 0.244% lo cual es muy superior al Azufre y seguramente logra un efecto estabilizante en la aleación de nuestros perfiles; en cuanto al contenido de Fósforo, vemos que está dentro del rango normal y que probablemente facilite el trabajo de maquinado que haya que efectuar a los perfiles de la Fuente.

Por el bajo contenido de Azufre y Fósforo considerados dentro de los rangos normales, podemos descartar las denominaciones **11XX y 12XX**.

Tercer paso: Contenido de Carbono

Finalmente, analizaremos el contenido de Carbono con el fin de determinar si se encuentra en el rango de alguna clasificación del sistema SAE – AISI; de la tabla 12.1, encontramos que los contenidos promedio de carbono son los siguientes:

Tabla 12.4 Contenido de carbono en las aleaciones estudiadas

EM 1	EM 2	EM 3	EM 4	EM 5	EM 6	EM 7	EM 8
0.0710	0.0750	0.0710	0.1390	0.1350	0.1320	0.0690	0.0720

Los pasos 1 y 2 descartaron la gran mayoría de denominaciones con lo cual solo podemos ubicar nuestros perfiles metálicos dentro de la serie 10XX, en el anexo 14 se encuentra una tabla con la composición química de toda esta serie; encontramos que el menor contenido es de 0.069 mientras que el mayor contenido es de 0.139; inicialmente determinamos un rango de contenido encontrado entre 0.069 y 0.14, lo cual nos ubica en los tipos de aceros mostrados en la tabla 12.5 que es extractada de las tablas del anexo 14:

Tabla 12.5 Composición química de los primeros ocho SAE 10XX

SAE	C	Mn	P, max	S, max
1005	0.06 max	0.35 max	0.40	0.50
1006	0.08 max	0.25 - 0.40	0.40	0.50
1008	0.10 max	0.30 - 0.50	0.40	0.50
1010	0.08 - 0.13	0.30 - 0.60	0.40	0.50
1012	0.10 - 0.15	0.30 - 0.60	0.40	0.50
1013	0.11 - 0.16	0.50 - 0.80	0.40	0.50
1015	0.13 - 0.18	0.30 - 0.60	0.40	0.50
1016	0.13 - 0.18	0.60 - 0.90	0.40	0.50

Ahora comparamos el contenido promedio de Manganeseo, Fosforo y Azufre, mostrados en la tabla No 12.6:

Tabla 12.6 Contenido de Manganeseo, Fosforo y azufre en las aleaciones estudiadas

Simbolo	Elemento	EM 1	EM 2	EM 3	EM 4	EM 5	EM 6	EM 7	EM 8
Mn	Manganeseo	0.2440	0.2540	0.2550	0.6960	0.6960	0.7110	0.2530	0.2480
P	Fosforo	0.0001	0.0010	0.0010	0.0020	0.0040	0.0060	0.0110	0.0120
S	Azufre	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0010	0.0060	0.0060

Como vemos en la tabla 12.6, el contenido de fosforo y azufre es muy inferior al 0.40 y 0.50 respectivamente mientras que el contenido de Manganeseo está alrededor de 0.25 para las muestras de menor contenido de carbono y 0.70 para las muestras con mayor contenido de carbono, esto nos determina con claridad dos tipos de acero de la serie SAE 10XX los cuales son el 1006 y el 1016; las propiedades mecánicas de interés de nuestros materiales se muestran en la tabla 12.7:

Tabla 12.7 Propiedades mecánicas típicas de las aleaciones 1006 y 1016

Propiedad	Laminación	SAE 1006	SAE 1016
Resistencia última	En caliente	295.00 MPa	400.00 MPa
Límite de elasticidad	En caliente	165.00 MPa	200.00 MPa
Elongación	En caliente	0.3	0.25
Resistencia última	En frio	330.00 MPa	500.00 MPa
Límite de elasticidad	En frio	285.00 MPa	350.00 MPa
Elongación	En frio	0.25	0.18

Adicionalmente sabemos de la clasificación SAE – AISI, que estos dos tipos de acero son maleables y de fácil trabajabilidad, por lo tanto podemos pensar que para cierto formado en esquinas y aristas, sean de gran utilidad estas dos últimas propiedades.

6.6. ENSAYO DE TENSION SOBRE PROBETAS

Como ya se mencionó anteriormente, el proceso de extracción de las probetas indujo ciertos defectos en estas; para la obtención de las probetas se emplearon todas las herramientas que tuvimos a la mano como son Motortool, pulidora, soplete, segueta, prensa manual, etc. El proceso de corte y pulido fue bastante dispendioso y en algunos casos se empleó un soplete para realizar el corte de la probeta con la correspondiente modificación de sus propiedades por efecto del calentamiento del material.

Tanto las muestras de material para el análisis químico como las probetas para el ensayo de tensión, se obtuvieron de los perfiles metálicos que se muestran en las fotografías siguientes; estos perfiles se marcaron con la fecha de compra como se observa en las imágenes:



Fotografía 64, Espécimen metálico No 1



Fotografía 65, Espécimen metálico No 2



Fotografía 66, Espécimen metálico No 3



Fotografía 67, Espécimen metálico No 4



Fotografía 68, Espécimen metálico No 5



Fotografía 69, Espécimen metálico No 6



Fotografía 70, Espécimen metálico No 7



Fotografía 71, Espécimen metálico No 8

De cada espécimen o perfil metálico se extrajeron 3 probetas con el fin de comparar los resultados del ensayo de tracción, estas probetas se marcaron con la letra “S” sigla de acero en inglés, seguida por el número del perfil EMX y finalmente, con el número de probeta del 1 al 3; las probetas extraídas se muestran en las fotografías



Fotografías 72 y 73, Probetas para el ensayo de tensión, Perfiles metálicos EM5 a EM8



Fotografías 74 y 75, Probetas para el ensayo de tensión, Perfiles metálicos EM1 a EM4

Estas probetas fueron ensayadas en la máquina universal de ensayos Shimadzu del laboratorio de ensayos Mecánicos de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional sede Bogotá, las gráficas esfuerzo – deformación de cada muestra se pueden consultar en el ANEXO No 15 GRAFICAS ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE TENSION EN METALES, los resultados resumidos del ensayo se muestran a continuación:

De las veinticuatro probetas ensayadas, doce no estaban en muy buenas condiciones ya que quedaron con defectos como puntos concentradores de esfuerzos, algunas con gotas de material derretido en los bordes que aunque fueron pulidas quedaron con rastros de este material, de estas algunas fallaron dentro de las marcas pero otras no, lo cual indica que algún comportamiento extraño pudo ser debido a estas imperfecciones; las otras doce probetas presentaron mejor estado para su ensayo.

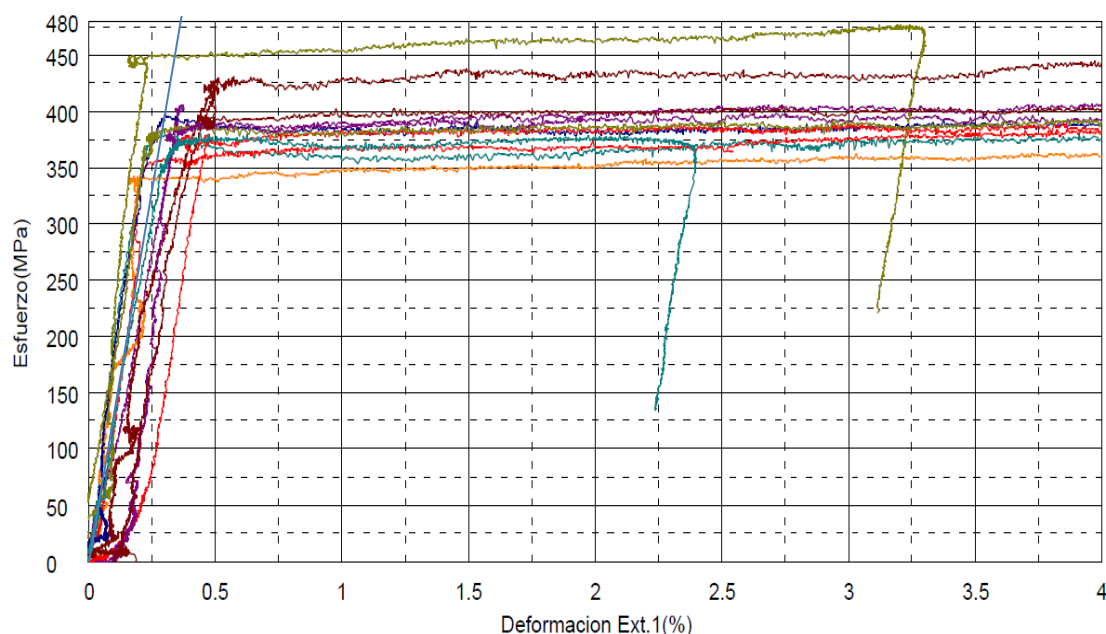
En la tabla 12.8 y gráfica 12, se muestran los resultados para el grupo de doce probetas con extensómetro; de estas, los resultados de las probetas S1-1, S4-3, S6-1 y S7-3, no son válidos ya que la falla se produjo fuera de las marcas de calibración.

Así mismo, en la tabla 12.9 y gráfica 13, se presentan los resultados del grupo de las doce probetas que se ensayaron sin extensómetro y que presentaban mal estado; de estas se descartaron los resultados de las probetas S2-1, S2-2, S4-2, S5-1, S5-2, S7-2 y S8-3 porque la falla se produjo fuera de las marcas de calibración.

Tabla 12,8 Ensayo de tracción de 12 Probetas planas de metal reciclado con extensometro

Identificación de la probeta	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm
S1-1	1,53	14,15	50,00
S1-2	1,52	12,06	50,00
S1-3	1,61	11,87	50,00
S2-3	1,54	12,34	50,00
S3-2	1,56	12,43	50,00
S4-3	1,61	12,09	50,00
S5-3	1,51	11,39	50,00
S6-1	1,57	13,00	50,00
S6-3	1,58	12,79	50,00
S7-1	1,81	11,78	50,00
S7-3	1,53	12,00	50,00
S8-2	1,51	12,33	50,00

Identificación de la probeta	Carga última N	Esfuerzo último Mpa	Carga de fluencia N	Esfuerzo de fluencia Mpa	Reducción de área %	Alargamiento %
S1-1	8250,00	381,07	8140,63	376,02	37,94%	-100,00%
S1-2	7796,88	425,33	7218,75	393,80	44,40%	24,86%
S1-3	8437,50	441,51	7390,63	386,73	35,21%	20,46%
S2-3	7906,25	416,04	7328,13	385,62	40,58%	16,64%
S3-2	7859,38	405,32	7296,88	376,31	45,86%	15,68%
S4-3	9046,88	464,78	8265,63	424,64	40,76%	-100,00%
S5-3	7421,88	431,53	6671,88	387,92	47,44%	24,32%
S6-1	9750,00	477,71	9125,00	447,09	30,70%	16,66%
S6-3	7906,25	391,24	7296,88	361,09	46,52%	14,26%
S7-1	8156,25	382,53	7312,50	342,96	58,50%	17,90%
S7-3	7531,25	410,20	6859,38	373,60	46,92%	22,02%
S8-2	7937,50	426,33	7156,25	384,37	47,49%	23,92%

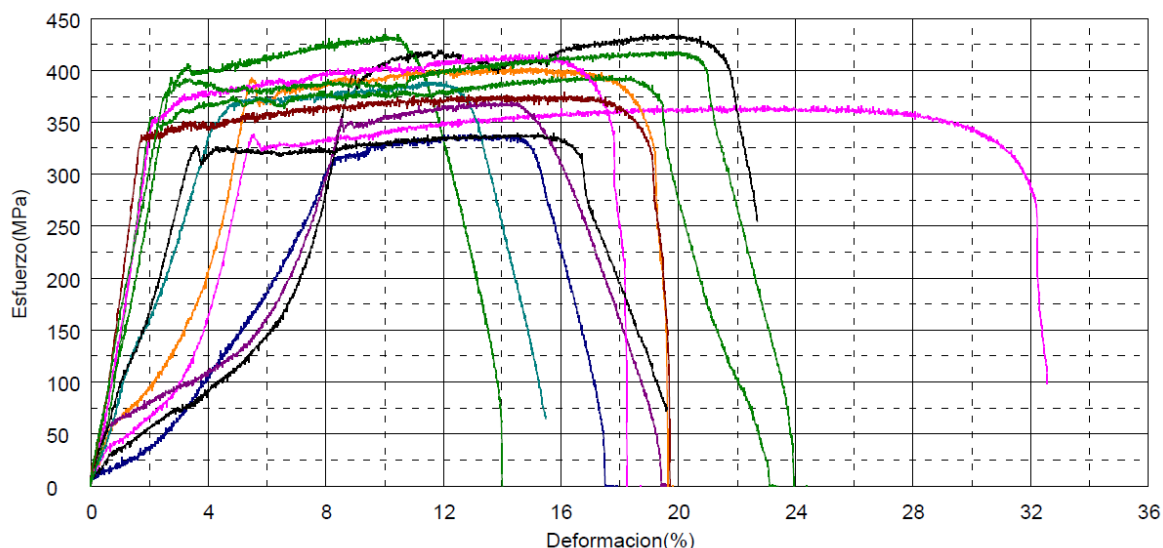


Gráfica 12, Esfuerzo Vs Deformación de doce probetas con extensómetro

Tabla 12,9 Ensayo de tracción de 12 Probetas planas de metal reciclado sin extensómetro

Identificación de la probeta	Espesor mm	Anchura mm	Longitud calibrada mm
S2-1	1,65	11,90	50,00
S2-2	1,55	12,08	50,00
S3-1	1,67	11,88	50,00
S3-3	1,47	11,84	50,00
S4-1	1,64	12,78	50,00
S4-2	1,85	11,17	50,00
S5-1	1,56	12,17	50,00
S5-2	1,58	12,43	50,00
S6-2	1,75	11,04	50,00
S7-2	1,76	12,67	50,00
S8-1	1,58	10,48	50,00
S8-3	1,54	12,14	50,00

Identificación de la probeta	Carga última N	Esfuerzo último Mpa	Carga de fluencia N	Esfuerzo de fluencia Mpa	Reducción de área %	Alargamiento %
S2-1	8546.88	435,29	3828.13	194,96	49,98%	-100,00%
S2-2	6359.38	339,64	4781.25	255,35	49,61%	-100,00%
S3-1	7281.25	367,01	4734.38	238,63	44,34%	19,88%
S3-3	7031.25	403,98	5234.38	300,74	39,58%	12,78%
S4-1	9125.00	435,37	6296.88	300,44	48,44%	18,64%
S4-2	8062.50	390,16	4890.63	236,67	55,79%	-100,00%
S5-1	7062.50	372,00	4234.38	223,04	39,34%	-100,00%
S5-2	7796.88	397,00	4359.38	221,97	45,51%	15,06%
S6-2	8078.13	418,12	4750.00	245,86	54,80%	11,38%
S7-2	7578.13	339,84	6859.38	307,61	55,96%	100,00%
S8-1	6281.25	379,34	4984.38	301,02	47,63%	14,16%
S8-3	7828.13	418,72	3828.13	204,76	42,57%	100,00%



Gráfica 13, Esfuerzo Vs Deformación de doce probetas sin extensómetro

De las gráficas 12 y 13, se identifican con claridad las probetas que fueron rechazadas en especial por el comportamiento no lineal al inicio del ensayo y la definición semiparabólica de la curva esfuerzo deformación que no es propia de un material homogéneo; estas características de las curvas de las probetas rechazadas, describen los daños que sufrieron durante su elaboración en especial por el calentamiento de aquellas que fueron cortadas con soplete, en las cuales las curvas indican un aumento importante en su capacidad de deformación sin resistir mayor carga.

Una vez retirados los valores de las probetas descartadas y aceptando el valor único de algunos de los especímenes o perfiles, la tabla 12.10 muestra el valor del esfuerzo de fluencia, esfuerzo último y módulo de elasticidad de los ocho especímenes estudiados; el valor del módulo de elasticidad se extrajo de la gráfica esfuerzo – deformación como un línea de tendencia de la misma en la porción semirrecta que se aprecia en cada una de estas gráficas y los valores de las tres propiedades es el promedio de los datos disponibles.

Tabla 12,10 Valores de esfuerzo último, esfuerzo de fluencia y Módulo de elasticidad

Identificación de la probeta	Esfuerzo último Mpa	Esfuerzo de fluencia Mpa	Módulo de elasticidad Gpa
S1-2	425,33	393,80	153,06
S1-3	441,51	386,73	209,50
S2-3	416,04	385,62	142,86
S3-1	367,01	238,63	151,08
S3-2	405,32	376,31	151,75
S3-3	403,98	300,74	N. A.
S4-1	435,37	300,44	N. A.
S5-3	431,53	387,92	155,28
S6-2	418,12	245,86	164,06
S6-3	391,24	361,09	165,01
S7-1	382,53	342,96	172,48
S8-1	379,34	301,02	200,00
S8-2	426,33	384,37	153,92

Espécimen metálico	Esfuerzo último Mpa	Esfuerzo de fluencia Mpa	Módulo de elasticidad Gpa
EM - 1	433,42	390,26	181,28
EM - 2	416,04	385,62	142,86
EM - 3	392,10	305,23	151,41
EM - 4	435,37	300,44	N. A.
EM - 5	431,53	387,92	155,28
EM - 6	404,68	303,47	164,53
EM - 7	382,53	342,96	172,48
EM - 8	402,83	342,69	176,96

6.6.1. Módulo de elasticidad:

Por la deficiencia en los datos de las probetas, para el espécimen EM-4 no fue posible establecer el valor promedio del módulo de elasticidad; el valor promedio para el módulo de elasticidad de esta dispersión es 163.543 GPa; si aplicamos los conceptos estadísticos aprendidos en el estudio de los especímenes de madera, el valor probable del módulo de elasticidad sería de 137.90 GPa según lo indicado en la tabla 12.11.

Tabla 12.11 Valor probable del Módulo de elasticidad de los especímenes metálicos

Valor probable 95% para Esfuerzo de Rotura Grupo 1 - Sub grupo 1	
Media de la dispersión	163,54 MPa
Desviación estandar	13,20
Coeficiente de variación	8,07%
Grados de libertad	6,00
Coeficiente t-student	1,9432
Valor probable 95%	137,90 MPa

Si tenemos en cuenta de la gráfica 12, una línea de tendencia entre las probetas válidas, el módulo de elasticidad promedio sería de 133.577, mientras que de las probetas válidas de la gráfica 13 el valor es de 160.592 GPa, para un promedio de 147.085 GPa.

Tenemos entonces tres valores representativos del módulo de elasticidad los cuales son: el promedio de los valores de la dispersión completa, el valor probable al percentil 5% y el promedio de la tendencia de las dos gráficas; los valores y la diferencia respecto al módulo de elasticidad conocido del acero (200 GPa), son los siguientes:

Promedio de la dispersión	163.543 GPa	-18.23%
Valor probable percentil 5%	137.900 GPa	-31.05%
Tendencia de las gráficas	147.085 GPa	-26.46%

Teniendo en cuenta que los valores de las probetas S1-3 y S8-1, 209.50 GPa y 200.000 GPa respectivamente, están muy cerca del valor conocido del módulo de elasticidad para el acero, es posible que los valores por debajo de este valor conocido respondan a las deficiencias en la extracción de las probetas que implicaron modificaciones en algunas propiedades mecánicas como lo son las elasticidad, la ductilidad y el aumento de las resistencia por el calentamiento del material.

Las probetas se extrajeron empleando procedimientos rudimentarios con herramienta menor que se tiene a la mano en nuestras casas e incluso se empleó en algunas un soplete común con mezcla de gas propano y oxígeno llamado oxicorte, que es muy común entre soldadores y hornamentadores; estas mismas herramientas seguramente serían las empleadas por las personas que compren el material en la Fuente y construyan su casa por sus propios medios.

El valor del promedio de la dispersión o la media de la dispersión parece ser un dato que refleja la realidad de las probetas ensayadas en las condiciones de extracción mencionadas; esto soportado en el coeficiente de variación de 8.07% que es muy reducido, por lo tanto la diferencia entre el valor de la media y el valor conocido del módulo de elasticidad de 18.23% puede ser un coeficiente de reducción óptimo para el diseño con los perfiles reciclados de la fuente, este coeficiente de reducción puede ser de 1.20 aproximando el valor al 20%.

6.6.2. Esfuerzo último y esfuerzo de fluencia:

De la tabla 12.10 encontramos que el promedio de esfuerzo último y esfuerzo de fluencia es de 412.31 MPa y 344.82 MPa respectivamente; los cuales están por encima de los valores conocidos de los aceros SAE 1006 y SAE 1016 que se determinaron en el análisis químico realizado a los especímenes metálicos.

De la tabla 12.7, podemos atrevernos a determinar que estos perfiles se fabricaron a partir de un acero SAE 1006 y fueron laminados en frio, además esto es consecuente con la fabricación estándar de este tipo de perfiles que es laminado en frio y no en caliente; a modo de conclusión inicial, adoptamos el acero SAE 1006 como el material que se consigue en la fuente y para efectos de diseño, adoptamos también emplear un factor de reducción de 1.20 a las tres propiedades como son: la resistencia última, la fluencia del material y el módulo de elasticidad según se determinó en el análisis del módulo de elasticidad.

De este modo, las propiedades para diseño del material de nuestros perfiles metálicos de la Fuente se resumen en la tabla 12.12.

Tabla 12.12 Propiedades mecánicas del material de los perfiles de la Fuente

Propiedad	Magnitud
Resistencia última	264,00 MPa
Límite de elasticidad	228,00 MPa
Módulo de elasticidad **modificado	160000,00 MPa

CAPITULO 7

PRUEBAS DE CARGA A ELEMENTOS DESPIEZADOS

Una vez realizado el estudio con probetas de los materiales disponibles, la curiosidad nos lleva a investigar que sucede en realidad con los materiales que encontramos en la Fuente y que siempre hemos dicho en este documento que no queremos reprocesar a gran escala con el fin de bajar costos de construcción; es así que tomamos algunos especímenes de madera y metálicos, a los cuales los cargamos como vigas y puntales para verificar su capacidad real de carga; los resultados se describen a continuación:

7.1. Obtención de materiales

En una de las visitas que realizamos a la bodega de la empresa recicladora, adquirimos 8 especímenes de madera y 9 metálicos para realizar las pruebas de carga; estos materiales se adquirieron en una sola sesión y se escogieron con un poco de cuidado tal y como una persona que quiere construir su vivienda lo puede hacer; se llevaron al laboratorio de estructuras de la Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, donde estuvieron almacenados por algo más de 4 meses mientras se terminaban de realizar los ensayos con probetas, con lo cual se puede decir que la humedad de equilibrio establecida se alcanzó; posteriormente se llevó a cabo el procedimiento que se detalla a continuación en los siguientes numerales.

7.2. Clasificación visual de los materiales

A los materiales metálicos y de madera se les realizó el correspondiente proceso de clasificación visual para determinar si son estructurales o no; obviamente los 17 especímenes cumplieron con el puntaje y las características mínimas ya que fueron seleccionados para este fin.

Una vez se realizó el procedimiento de carga, los resultados tanto de vigas como de parales se resumieron en las tablas 13.1 a 13.4 al final del capítulo.

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	S1 PARAL
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2243,000 mm
Base	60,087 mm
Altura	30,124 mm
Espesor	1,575 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		7
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		10
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		8
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:
Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen	33,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



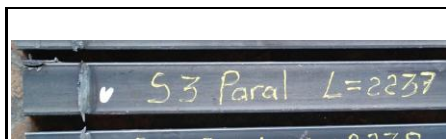
Identificación	S2 PARAL
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2236,000 mm
Base	60,169 mm
Altura	30,254 mm
Espesor	1,548 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		10
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		7
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		10
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		8
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:
Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen	35,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	S3 PARAL
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2237,000 mm
Base	60,181 mm
Altura	30,269 mm
Espesor	1,563 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		7
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		10
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		8
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:
Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen	33,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	S4 PARAL
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2238,000 mm
Base	60,129 mm
Altura	30,297 mm
Espesor	1,563 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		7
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		10
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		8
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:
Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen	33,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	S5 PARAL
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2235,000 mm
Base	60,181 mm
Altura	30,352 mm
Espesor	1,575 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		7
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		10
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:

Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen

33,0

Aplicabilidad del espécimen

Estructural

Observaciones:

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	VS - 1
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2083,000 mm
Base	60,143 mm
Altura	30,352 mm
Espesor	1,575 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		7
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		8
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:

Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen

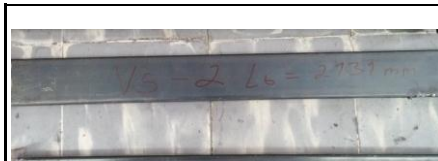
31,0

Aplicabilidad del espécimen

Estructural

Observaciones:

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	VS - 2
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2131,000 mm
Base	60,170 mm
Altura	30,360 mm
Espesor	1,584 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		7
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		8
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		7
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:

Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen

30,0

Aplicabilidad del espécimen

Estructural

Observaciones:

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	VS - 3
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	1819,000 mm
Base	69,085 mm
Altura	39,154 mm
Espesor	1,575 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		10
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		10
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		8
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:

Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen

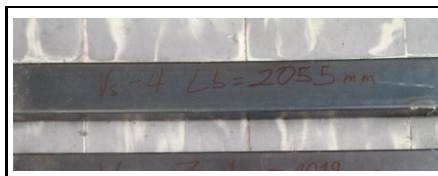
36,0

Aplicabilidad del espécimen

Estructural

Observaciones:

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN METALICO



Identificación	VS - 4
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral metálico
Longitud	2055,000 mm
Base	60,164 mm
Altura	30,352 mm
Espesor	1,573 mm
Grupo de clasificación	

Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
Elemento sin despiezar	de 8 a 10		8
Elemento despiezado sin conectores retirados	de 7 a 10		8
Elemento con conectores retirados sin otro defecto	de 7 a 10		8
Curvatura menor a 1/1000	de 7 a 10		
Curvatura mayor a 1/1000 pero menor a 13 mm	de 7 a 9		
Curvatura mayor a 13 mm pero menor a 16 mm	7		
Curvatura mayor a 16 mm	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con oxicorte	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		
Elemento con conectores retirados con pulidora	de 0 a 8		
Defecto unicamente en los extremos	de 7 a 8		
Defecto en el cuerpo del perfil	de 0 a 6		

Aplicabilidad:

Estructural si la calificación menor es 7 o superior
No estructural si la calificación menor es 6 o inferior
Rechazado a criterio del calificador

Puntaje mínimo obtenido por el espécimen

32,0

Aplicabilidad del espécimen

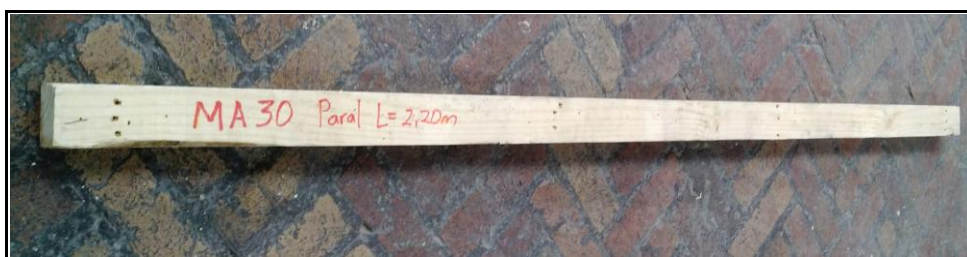
Estructural

Observaciones:

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT



Identificación	MA-30
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral de madera
Longitud	220,00 cm
Base	7,63 cm
Altura	7,42 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1

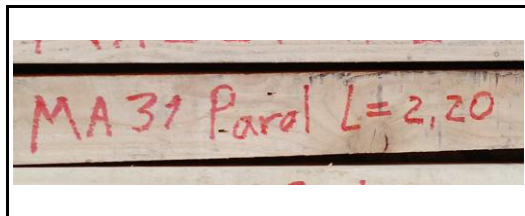


Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10		9
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10	Presenta encorvadura de un extremo	8
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		10
5. Arista faltante	de 7 a 10	Presenta una porción afectada cerca de uno de los extremos	7
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	Presenta distorsiones apreciables de la fibra con inclinación de 1:8	8
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	9
13. Nudo hueco	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta perforaciones de importancia en los extramos y tercios del perfil	7
17. Rajaduras	de 5 a 10	No presenta	9
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

Aplicabilidad:
Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen	167,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT



Identificación	MA-31
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral de madera
Longitud	220,00 cm
Base	6,57 cm
Altura	5,23 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1



Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	8
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10	Presenta encorvadura de un extremo	10
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10		8
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		9
5. Arista faltante	de 7 a 10		10
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	Presenta distorsiones apreciables de la fibra con inclinación de 1:6	6
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. Médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	7
13. Nudo hueco	0 ó 10	Algunos nudos de menor tamaño presentan un poco de profundidad	9
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta perforaciones de importancia en uno de los extremos	9
17. Rajaduras	de 5 a 10	Presenta un poco de rajaduras en el extremo cerca a las perforaciones	9
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

Aplicabilidad:

Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen

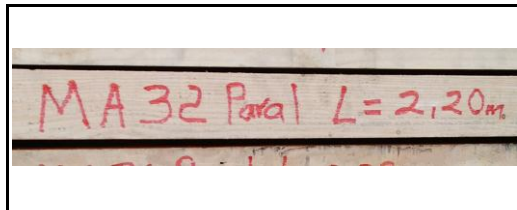
165,0

Aplicabilidad del espécimen

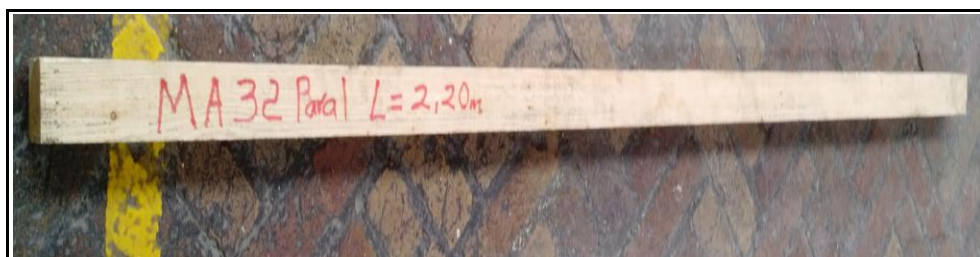
Estructural

Observaciones:

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REPORT



Identificación	MA-32
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral de madera
Longitud	220,00 cm
Base	7,55 cm
Altura	6,81 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1

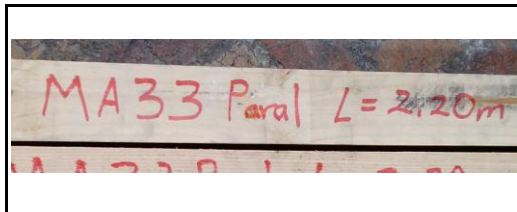


Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10		10
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10	Presenta encorvadura de un extremo	9
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		10
5. Arista faltante	de 7 a 10	No presenta en ninguna arista	10
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	Presenta distorsiones apreciables de la fibra con inclinación de 1:8	8
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	9
13. Nudo hueco	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta pocas perforaciones	9
17. Rajaduras	de 5 a 10	No presenta	10
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

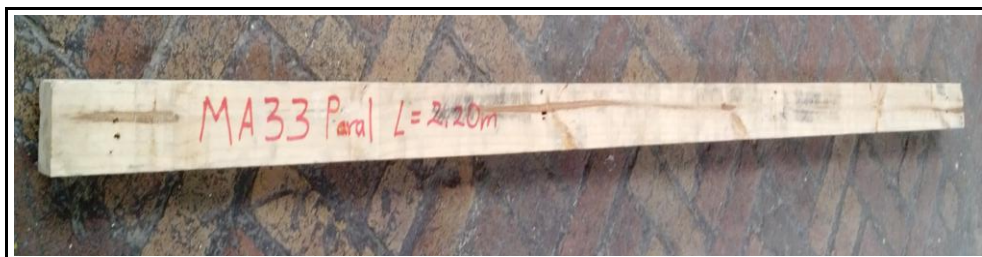
Aplicabilidad:
Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen	175,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT



Identificación	MA-33
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Paral de madera
Longitud	220,00 cm
Base	6,45 cm
Altura	6,41 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1

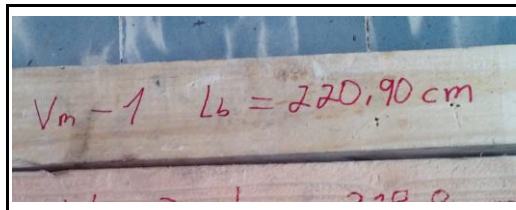


Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10	Presenta encorvadura de un extremo	10
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10		9
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		10
5. Arista faltante	de 7 a 10	No presenta en ninguna arista	10
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	Presenta distorsiones apreciables de la fibra con inclinación de 1:6	8
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	10
13. Nudo hueco	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	Presenta afectaciones muy visibles de menos de 2 mm de profundidad	8
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta perforaciones de importancia en los extramos y tercios del perfil	8
17. Rajaduras	de 5 a 10	No presenta	10
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

Aplicabilidad:
Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen	173,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REPORT



Identificación	VM - 1
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Viga de madera
Longitud	220,90 cm
Base	74,91 cm
Altura	51,01 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1

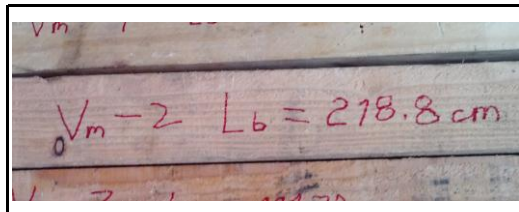


Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10		10
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10	Presenta encorvadura de un extremo del 20%	8
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		10
5. Arista faltante	de 7 a 10	Presenta sectores a lo largo del perfil en una arista en donde hace falta	7
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	Presenta distorsiones apreciables de la fibra con inclinación de 1:6	7
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	10
13. Nudo hueco	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta perforaciones de importancia en los extremos	8
17. Rajaduras	de 5 a 10	No presenta	10
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

Aplicabilidad:
Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen	170,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT



Identificación	VM - 2
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Viga de madera
Longitud	218,80 cm
Base	75,40 cm
Altura	50,65 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1

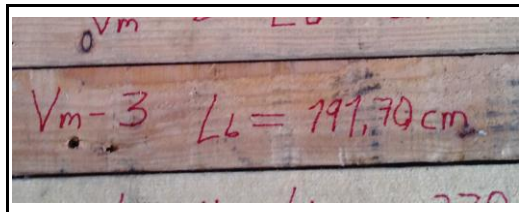


Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10	Presenta encorvadura de un extremo del 30%	10
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10		8
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		10
5. Arista faltante	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	Presenta distorsiones apreciables de la fibra con inclinación de 1:10 que se afectan visiblemente en nudo	9
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	9
13. Nudo hueco	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta perforaciones en los extremos	9
17. Rajaduras	de 5 a 10	No presenta	10
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

Aplicabilidad:
Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen	175,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT



Identificación	VM-3
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Viga de madera
Longitud	191,70 cm
Base	7,60 cm
Altura	5,00 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1

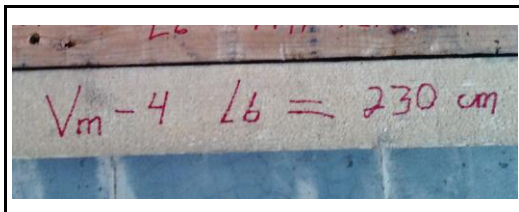


Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10	Presenta todo tipo de afectaciones de menor importancia y encurvadura del 30%	7
3. Alabeo por encurvadura	de 7 a 10		7
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		7
5. Arista faltante	de 7 a 10		7
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	La fibra en general conserva el desarrollo en un 90% de la longitud, sin embargo hay nudos que generan distorsión	5
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	9
13. Nudo hueco	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta perforaciones en los extremos	8
17. Rajaduras	de 5 a 10	No presenta	10
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

Aplicabilidad:
Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen	160,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT



Identificación	VM - 4
Fecha de obtención	Marzo 06 de 2013
Tipo de perfil	Viga de madera
Longitud	230,00 cm
Base	58,85 cm
Altura	60,14 cm
Espesor	0,00 cm
Grupo de clasificación	1



Pámetro de clasificación	Rango de calificación	Observación del estado del espécimen	Calificación
1. Alabeo por abarquillado	de 7 a 10	Al ser un perfil prismático, no presenta este defecto ya que su relación de sección base/ancho no es mayor a 1.5	10
2. Alabeo por arqueadura	de 7 a 10	Presenta encorvadura de un extremo del 20%	10
3. Alabeo por encorvadura	de 7 a 10		8
4. Alabeo por torcedura	de 7 a 10		10
5. Arista faltante	de 7 a 10	Una de las aristas está fuertemente afectada en el 50% de la longitud	7
6. Duramen quebradizo	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
7. Escamadura - acebolladura	de 7 a 10	No presenta en ninguna cara	10
8. Fallas de compresión	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
9. Grano inclinado	de 5 a 10	Hay gran distorsión de la fibra	6
10. Grieta	de 5 a 10	No presenta en ninguna cara	10
11. médula	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
12. Nudo sano	de 5 a 10	Presenta algunos nudos incipientes que provocan la distorsión de la fibra	6
13. Nudo hueco	0 ó 10	Presenta esta afectación en la zona de arista faltante	8
14. Nudos arracimados	0 ó 10	No presenta en ninguna cara	10
15. Parénquima	de 5 a 10	La zona de arista faltante presenta falta de células maderables	6
16. Perforaciones	de 7 a 10	Presenta perforaciones en los extremos	8
17. Rajaduras	de 5 a 10	No presenta	10
18. Manchas	0 ó 10	No presenta manchas de origen biológico, solamente de suciedad.	10

Aplicabilidad:
Estructural (123 - 180) puntos
No estructural menor a 122 puntos
Rechazado menor a 30 puntos

Puntaje total obtenido por el espécimen	159,0
Aplicabilidad del espécimen	Estructural
Observaciones:	

7.3. Protocolo de pruebas

Las vigas fueron ensayadas simplemente apoyadas en los extremos y cargadas en los tercios mientras que los puntales fueron cargados a compresión, los extremos de estos paraleles se consideran articulados, sin embargo debido a que son perfiles rectangulares, en el apoyo con la superficie plana se produce un momento pequeño mientras la deformación sea pequeña, después cuando la deformación se haga apreciable, el puntal va perdiendo el contacto inicial en toda su sección transversal recostándose hacia uno de los bordes.

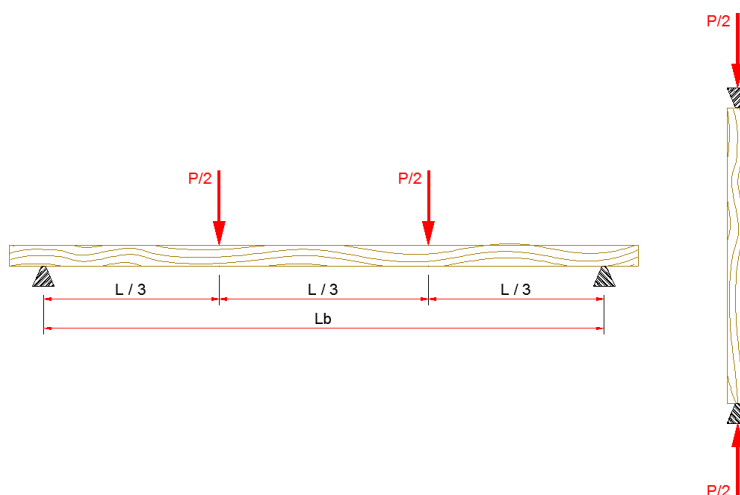


Figura 14, esquema de carga de vigas y puntales

7.3.1. Vigas simplemente apoyadas:

Las vigas fueron ensayadas en la máquina de compresión del Laboratorio de Estructuras de la Universidad Nacional sede Bogotá, para esto fue necesario realizar un montaje adicional consistente en colocar dos vigas metálicas con perfil C en la base de la máquina para instalar los apoyos simples de la viga metálica o de madera a ensayar; adicionalmente, sobre la viga se colocó un tubo metálico suficientemente rígido apoyado en dos cubos redondeados de madera; una vez la prensa ejerciera presión sobre el tubo metálico, este aportaría dos cargas de igual magnitud sobre la viga a ensayar; el montaje se observa con claridad en las imágenes correspondientes a las vigas ensayadas.

La estabilidad de las vigas de madera está garantizada ya que son perfiles rectangulares sólidos y se apoyan sobre el ancho de una de sus caras, seguramente el apoyo al ejercer su reacción sobre la viga de madera, le hace algún tipo de marca de compresión perpendicular a la cara apoyada, sin embargo con las vigas metálicas no sucede lo mismo ya que son perfiles de lámina delgada y se ensayaron en su sentido fuerte, por lo cual seguramente van a tener problemas de pandeo local

de las dos almas en las zonas de los apoyos y en los puntos de aplicación de las cargas; para evitar este problema de pandeo local, se sujetaron mediante puntos de soldadura, trozos de varilla cuadrada de 10 mm generando un anillo alrededor de la sección en los puntos de apoyo y carga con el fin de proporcionar arriostramiento a las almas y a los patines de la sección para que no haya falla por cortante o compresión en los puntos de apoyo y aplicación de carga, las fotografías No 76 y 77 muestran con detalle el anillo en las vigas metálicas para evitar el pandeo local.



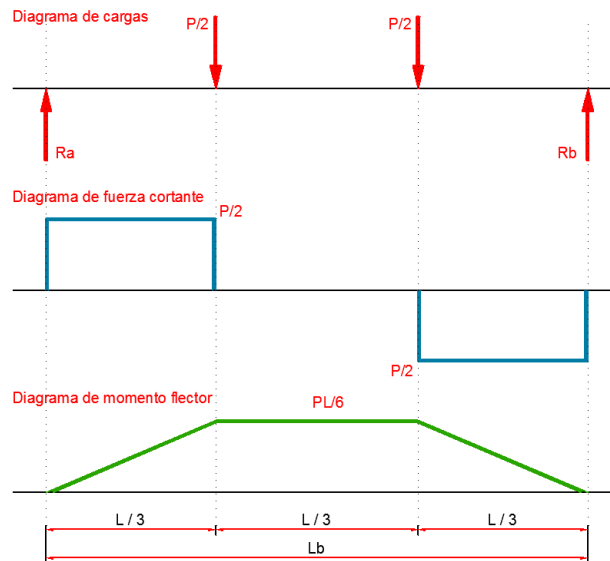
Fotografías 76 y 77, Anillo de varilla alrededor del perfil en los apoyos y puntos de carga

Las vigas de madera se montaron en la máquina de prueba sin realizar ningún procedimiento adicional, solamente se retiraron los elementos de sujeción como puntillas y grapas para evitar accidentes durante el montaje de la viga y en caso de falla explosiva.

Para las vigas metálicas fuera de los anillos, no se realizó ningún otro procedimiento previo al montaje en la máquina de pruebas.

La razón de colocar dos cargas en los tercios, es la de simular las condiciones del armado de un entrepiso de pequeñas dimensiones en donde las vigas principales que puedan tener de 2.00 m a 2.50 m de longitud o incluso 2.80m, las riostras seguramente estarán colocadas en los tercios de estas vigas y transmitirán cargas puntuales; sin embargo, por las dimensiones de las vigas y especialmente las de madera, sabemos que no es posible emplearlas como vigas principales porque las deflexiones serían importantes, pero si nos dan un valor de la resistencia real de estos materiales para usarlos de referencia con los valores probables encontrados en la caracterización.

Asumiendo que la falla en estas vigas se presentará por flexión y no por cortante ni torsión, los cálculos realizados son los siguientes:



Para el caso de las vigas de madera:

- El momento debido a una carga P es $M = \frac{PL}{6}$; con lo cual calculamos el momento último con la carga última y el momento elástico con la carga que está soportando la viga a una determinada deflexión; La norma NSR-10 en la tabla G.3.2-1 define la deflexión máxima para elementos de entrepiso como $\frac{L}{300}$, bajo cargas totales, adicionalmente el momento de fluencia es aquel en donde se comienza a detectar el rasgado de las fibras de la madera y comienza a perder rigidez la sección de la viga.
- Con los momentos último y de fluencia, podemos calcular el esfuerzo último y el esfuerzo de fluencia debidos a flexión que presenta la viga ensayada mediante las expresiones:

$$F_{bu} = \frac{M_u}{Z} = \frac{4M_u}{bh^2} \quad ; \quad F_{by} = \frac{M_y}{S} = \frac{6M_u}{bh^2}$$

- La deformación en el centro de una viga simplemente apoyada con cargas iguales en sus tercios está dada por $\delta = \frac{23}{648} \frac{PL^3}{EI}$; con esta expresión podemos entonces calcular el módulo de elasticidad teórico que presenta la viga ensayada.

Para el caso de las vigas metálicas:

- El momento debido a una carga P es $M = \frac{PL}{6}$; con lo cual calculamos el momento último con la carga última y el momento elástico con la carga que está soportando la viga a una determinada deflexión; estos momentos los podemos comparar con el momento teórico plástico y el momento teórico elástico de la sección los cuales están dados por: $M_p = F_y Z$ y $M_e = F_y S$ respectivamente, calculados teniendo en cuenta los parámetros de esbeltez de los elementos para pandeo local definidos en el numeral F.2.6.7 de la norma NSR-10; el momento elástico lo calculamos a partir de la carga a la cual se comenzaron a detectar

visualmente las deformaciones debidas a cortante, representadas por pequeños embombamientos en las almas por cortante o patines superiores debidas a compresión por flexión.

- La deformación en el centro de una viga simplemente apoyada con cargas iguales en sus tercios está dada por $\delta = \frac{23}{648} \frac{PL^3}{EI}$; con esta expresión podemos entonces calcular el módulo de elasticidad teórico que presenta la viga ensayada.

7.3.2. Columnas simplemente apoyadas:

Los puntales fueron ensayados en la máquina universal del laboratorio de materiales de la facultad de Ingeniería mecánica de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, para esto no se realizó un montaje adicional; los puntales se ensayaron como columnas con extremos articulados simplemente apoyadas sobre la base y el cabezote móvil de la máquina, el cual se hizo llegar suavemente sobre la cara superior del puntal teniendo precaución de plomar el elemento mediante un nivel manual colocado en dos caras conexas.

Estas columnas fueron comprimidas hasta su falla registrando la carga que provocó el pandeo y falla final del elemento.

Una vez obtenida la carga de falla de las columnas, comparamos esta carga y el esfuerzo correspondiente con la carga y esfuerzo críticos de pandeo según las ecuaciones conocidas y los parámetros de esbeltez de los elementos.

La carga crítica de pandeo está dada por: $P_{cr} = F_{cr}A_g$ y el esfuerzo crítico de pandeo está calculado a partir del esfuerzo de Euler en relación a las características de esbeltez de la columna.

7.3.3. Desarrollo de los ensayos de Flexión en vigas de madera y metálicas:

En las fotografías 78 a 85 se muestra el montaje realizado de las vigas metálicas y de madera; si bien las vigas metálicas no se diferencian, las imágenes se incluyen como material probatorio de los ensayos efectuados.



Fotografía 78, montaje de Vm-1



Fotografía 79, montaje de Vm-2



Fotografía 80, montaje de Vm-3



Fotografía 81, montaje de Vm-4



Fotografía 82, montaje de Vs-1



Fotografía 83, montaje de Vs-2



Fotografía 84, montaje de Vs-3



Fotografía 85, montaje de Vs-4



los ocho especímenes fueron instrumentados mediante la instalación de un deformímetro en el centro de la luz y ensayados hasta la rotura; la deflexión en el centro de la luz solamente se midió

hasta un valor de carga tal que comenzaba a detectarse visualmente las deformaciones o con el sonido de las fibras en el caso de la madera.

Las fotografías 85 a 91 muestran las deformaciones y el modo de rotura o falla de las vigas de madera ensayadas:



Fotografía 86 Vigas de madera sin ensayar



Fotografía 87, Vigas de madera ensayadas



Fotografía 88 Modo de falla de Vm - 4



Fotografía 89, Modo de falla de Vm - 2



Fotografía 90 Modo de falla de Vm - 1



Fotografía 91, Modo de falla de Vm - 3

Como se aprecia en la fotografía 87, la falla de las cuatro vigas de madera ocurrió en el tercio

central de la longitud de prueba, con lo cual podemos decir que la falla se presentó por flexión en el tercio central el cual se encuentra sometido a flexión pura con base en la disposición de las cargas puntuales colocadas a los tercios de la longitud.

De esta misma fotografía 87, podemos ver que la flexión inducida hizo quebrar las fibras inferiores por tensión, propiedad que ya hemos visto que es frágil en nuestros especímenes; por lo cual no se evidencia fácilmente que haya una falla por compresión en las fibras superiores; esta condición la apreciamos mejor en la forma de rotura escalonada de la viga Vm-1, fotografía 90, en la cual la falla no se indujo por la presencia de un nudo pero esto seguramente generó una concentración importante de esfuerzos de compresión en las fibras superiores y en el cuerpo del nudo, que permitió una plastificación casi total de la sección trabajando a tensión.

En la fotografía 91 vemos que la falla fue inducida por la presencia de un nudo que abarca todo el peralte de la viga; los esfuerzos de compresión y tensión se marcaron perfectamente en el perímetro del nudo haciendo que las dos porciones de la viga se separaran casi por el eje geométrico de la sección, esto refleja que la falla se produjo por flujo de cortante paralelo a la fibra y describe una falla balanceada de la sección en compresión y tensión alrededor del eje neutro.

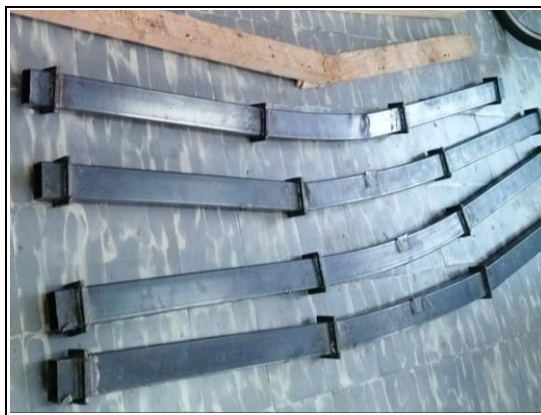
La manera en que fallaron estas dos vigas se puede describir en una palabra como súbita; comenzaron a escucharse como se rompían las fibras inferiores más alejadas del eje neutro, pero de repente y súbitamente se escuchó como se rompió la viga y los dos pedazos cayeron sobre las vigas metálicas del montaje y quedaron atrapadas dentro de los montantes de la máquina y presionados con el cilindro de carga y el tubo metálico. Esto es concordante con el hecho de tener nudos concentradores de esfuerzo y es una razón importante para no utilizar elementos que presenten grandes nudos en especial si van a trabajar a flexión.

En las fotografías 88 y 89 correspondientes a la falla de las vigas Vm-4 y V-2, vemos que la falla se produce cuando las fibras inferiores rompen a tensión; en estas dos vigas, no hay nudos concentradores de esfuerzos que generen comportamientos atípicos, por lo tanto, la falla que presentan estas dos vigas es de rotura por tensión neta en las fibras inferiores al eje neutro, también se aprecia que las fibras más cercanas al eje neutro están desgarradas por tensión sobre el ligante y no hay flujo plástico de cortante paralelo al eje neutro; al ser las secciones más resistentes a compresión que a tracción, es concordante con la manera en que se desencadenó la falla es estas dos vigas; las fibras inferiores más alejadas del eje neutro se fueron rompiendo hacia el interior de la viga lenta y progresivamente hasta que se desgarraron por tensión en el ligante en las fibras interiores y el reloj de carga no registró más lecturas; estas vigas no se rompieron súbitamente como las otras dos y podemos describir esta manera de falla como dúctil.

Las fotografías 92 a 97 muestran las deformaciones y el modo de rotura o falla de las vigas metálicas ensayadas:



Fotografía 92 Vigas metálicas sin ensayar



Fotografía 93, Vigas metálicas ensayadas



Fotografía 94 Modo de falla de Vs - 3



Fotografía 95, Modo de falla de Vs - 1



Fotografía 96 Modo de falla de Vs - 2



Fotografía 97, Modo de falla de Vs - 4

Como era de esperar, el refuerzo para evitar la falla temprana por pandeo en las zonas de apoyos y cargas, funcionó y la falla de las cuatro vigas se presentó por flexión en el tercio central de la viga, como se aprecia en la fotografía No 93.

El modo de falla de las cuatro vigas fue dúctil, concordante con las propiedades mecánicas del material; ninguna fue por rotura y se presentó en las cuatro un aplastamiento del material

sometido a compresión del patín superior.

Debido a que no son secciones solidas sino perfiles laminados, no se produjo plastificación total de la sección, la falla se produjo por pandeo local en las zonas comprimidas mucho antes de presentar fluencia por tensión en los patines inferiores.

En la fotografía 93, también se aprecia que en las vigas Vs-1 y Vs-3, se describe una curvatura casi perfecta en el tercio central, mientras que las vigas Vs-2 y Vs-4, presentan una deformación que se asemeja más a una rótula plástica en los bordes del anillo de refuerzo; ambos tipos de deformación implicaron pandeo local tanto del patín superior como de las almas, sin embargo en las vigas Vs-2 y Vs-4, la deformación es más destructiva que la de las otras dos vigas.

En las fotografías 94 a 97 se muestra la falla que presentó cada viga metálica.

Estamos seguros que los regímenes de carga que presentaron estas cuatro vigas metálicas no hubieran sido posibles de alcanzar de no haber colocado los anillos de refuerzo, ya que las cargas impuestas y los apoyos metálicos habrían hecho fallar progresivamente la viga por pandeo del alma en cualquier zona con algún punto débil y a su vez, el pandeo local habría desencadenado torsión y pandeo lateral de la viga. Seguramente ahora nos preguntamos cómo hacer que estos anillos se representen en la realidad de un perfil adquirido en la Fuente e instalado como viga dentro de la estructura de una vivienda; esta es una pregunta que trataremos de abordar en las conclusiones finales.

El desarrollo de los cálculos planteados para estas vigas ensayadas a flexión pura mediante la aplicación de dos cargas puntuales en los tercios de la longitud, se resume a continuación en las tablas

Tabla 13.1. Resultados del ensayo de flexión en vigas completas de madera

Identificación de la viga	VM - 1	VM - 2	VM - 3	VM - 4
Altura de la sección	7,49 cm	7,54 cm	5,00 cm	5,89 cm
Base de la sección	5,10 cm	5,07 cm	7,60 cm	6,01 cm
Longitud entre apoyos	200,00 cm	200,00 cm	180,00 cm	200,00 cm
Momento de inercia de la sección	178,69 cm ⁴	180,93 cm ⁴	79,17 cm ⁴	102,15 cm ⁴
Módulo elástico de la sección	47,71 cm ³	47,99 cm ³	31,67 cm ³	34,71 cm ³
Módulo plástico de la sección	71,56 cm ³	71,99 cm ³	47,50 cm ³	52,07 cm ³
Criterio de deformación L/300	6,67 mm	6,67 mm	6,00 mm	6,67 mm
Carga última registrada	672,00 Kg	785,00 Kg	351,00 Kg	377,00 Kg
Carga aproximada de fluencia	286,00 Kg	266,00 Kg	139,00 Kg	178,00 Kg
Carga aproximada en $\delta = L/300$	52,33 Kg	73,00 Kg	35,00 Kg	45,00 Kg
Momento último	2,20 KN m	2,57 KN m	1,03 KN m	1,23 KN m
Momento de fluencia	0,94 KN m	0,87 KN m	0,41 KN m	0,58 KN m
Momento en $\delta = L/300$	0,17 KN m	0,24 KN m	0,10 KN m	0,15 KN m
Esfuerzo ultimo a flexión	30,71 MPa	35,66 MPa	21,75 MPa	23,68 MPa
Esfuerzo de fluencia a flexión	19,60 MPa	18,12 MPa	12,92 MPa	16,77 MPa
Módulo de elasticidad registrado	61,18 MPa	84,29 MPa	74,81 MPa	92,04 MPa

Tabla 13.2, Resultados del ensayo de flexión en vigas metálicas completas

Identificación de la viga	VS - 1	VS - 2	VS - 3	VS - 4
Altura de la sección	60,14 mm	60,17 mm	60,09 mm	60,16 mm
Base de la sección	30,35 mm	30,36 mm	30,15 mm	30,35 mm
Espesor de la sección	1,58 mm	1,58 mm	1,58 mm	1,57 mm
Longitud entre apoyos	2083,00 mm	2131,00 mm	1819,00 mm	2055,00 mm
Momento de inercia de la sección	130604,60 mm ⁴	131446,74 mm ⁴	129760,15 mm ⁴	130566,92 mm ⁴
Módulo elástico de la sección	4343,14 mm ³	4369,18 mm ³	4319,22 mm ³	4340,37 mm ³
Módulo plástico de la sección	6514,70 mm ³	6553,77 mm ³	6478,83 mm ³	6510,55 mm ³
Ancho efectivo del patín con aletas esbeltas	25,00 mm	24,69 mm	24,45 mm	25,08 mm
Módulo de sección efectivo para aletas esbeltas	3577,87 mm ³	3552,90 mm ³	3502,77 mm ³	3586,22 mm ³
Criterio de deformación L/300	6,94 mm	7,10 mm	6,06 mm	6,85 mm
Módulo de elasticidad teórico	200000,00 MPa	200000,00 MPa	200000,00 MPa	200000,00 MPa
Esfuerzo de fluencia teórico	200,00 MPa	200,00 MPa	200,00 MPa	200,00 MPa
Parámetro de esbeltez λ_p	35,42	35,42	35,42	35,42
Parámetro de esbeltez λ_r	44,27	44,27	44,27	44,27
Parámetro de esbeltez del patín	16,27	16,17	16,15	16,30
Parámetro de esbeltez del alma	35,19	34,99	35,15	35,25
Tipo de patín	Compacto	Compacto	Compacto	Compacto
Tipo de alma	Compacto	Compacto	Compacto	Compacto
Momento plástico teórico	1,30 KN m	1,31 KN m	1,30 KN m	1,30 KN m
Momento elástico teórico	0,87 KN m	0,87 KN m	0,86 KN m	0,87 KN m
Momento teórico con aletas no compactas	1,30 KN m	1,31 KN m	1,30 KN m	1,30 KN m
Momento teórico con aletas esbeltas	0,72 KN m	0,71 KN m	0,70 KN m	0,72 KN m
Momento teórico por pandeo local del alma	1,30 KN m	1,31 KN m	1,30 KN m	1,30 KN m
Carga última registrada	713,00 Kg	803,00 Kg	728,00 Kg	668,00 Kg
Carga aproximada de fluencia	349,00 Kg	314,00 Kg	501,00 Kg	345,00 Kg
Carga aproximada en $\delta = L/300$	109,00 Kg	104,00 Kg	143,00 Kg	108,00 Kg
Momento último	2,43 KN m	2,80 KN m	2,17 KN m	2,24 KN m
Momento de fluencia	1,19 KN m	1,09 KN m	1,49 KN m	1,16 KN m
Momento en $\delta = L/300$	0,37 KN m	0,36 KN m	0,43 KN m	0,36 KN m
Esfuerzo último a flexión	372,74 MPa	426,90 MPa	334,18 MPa	344,74 MPa
Esfuerzo de fluencia a flexión	182,45 MPa	166,93 MPa	229,98 MPa	178,05 MPa
Módulo de elasticidad registrado	189,13 GPa	187,66 GPa	190,45 GPa	182,44 GPa

7.3.4. Desarrollo de los ensayos de compresión en puntales con extremos simplemente apoyados:

Los puntales fueron ensayados en la máquina universal de ensayos Tinius Olsen en el laboratorio de materiales de la Facultad de ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá; no fue necesario realizar montajes adicionales y los elementos se colocaron simplemente apoyados en la base fija de la máquina; se corrigieron las secciones extremas de los perfiles con el

fin de lograr un mejor enfrentado de las mismas y con las superficies de compresión de la máquina, fuera de esto no se realizó ninguna modificación a los perfiles metálicos o de madera adicional a retirar los elementos de sujeción como son puntillas o grapas para evitar accidentes en su manipulación o debidos a fallas explosivas que puedan lanzar estos elementos contra equipos o personal.

Como se ha mencionado, el perfil se colocó verticalmente en la base fija de la máquina y el cabezote móvil se fue desplazando hacia abajo lentamente para ajustar el extremo superior del puntal al valor cero de carga y deformación; mientras se realizaba el desplazamiento del cabezote, se sostuvo el perfil con dos niveles de mano para garantizar su verticalidad, estos niveles se colocaron simultáneamente en dos caras anexas del puntal.

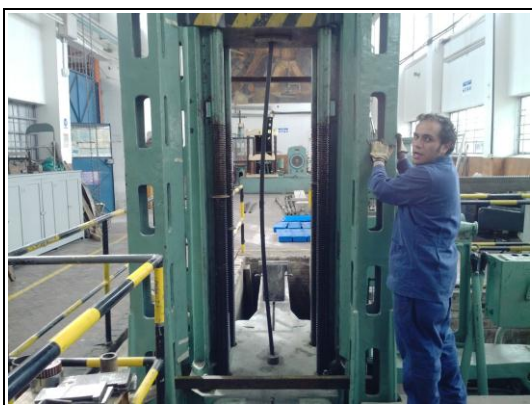
Una vez el puntal está levemente ajustado, se inició el procedimiento de carga axial del puntal hasta su falla ya sea solo por pandeo o por rotura; a continuación se ilustra el montaje para el ensayo algunos de los puntales en las fotografías 98 a 103:



Fotografía 98 Montaje del puntal S1



Fotografía 99, Montaje del puntal S5



Fotografía 100, Ensayo del puntal S2



Fotografía 101, Placa de comandos de la T. O.



Fotografía 102, Montaje del puntal MA30



Fotografía 103, Ensayo del puntal MA31

En general la falla se presentó por pandeo y se produjeron daños apreciables en la zona central de los puntales, tal como se esperaba, el pandeo se presentó debido a la esbeltez de los puntales y no por razones de falla del material por compresión; la falla en los puntales de madera al igual que en las vigas, fue súbita mientras que en los puntales metálicos fue dúctil igual que en las vigas, esto se puede apreciar en las fotografías 105 y 106.



Fotografía 104, Puntales sin ensayar



Fotografía 105, Puntales metálicos ensayados



Fotografía 106, Puntales de madera ensayados



Fotografía 107, Falla del puntal MA30

En los puntales de madera, la falla se presentó con rotura total de la sección; esta rotura fue explosiva en el puntal MA30, lo que indica que se pudo haber presentado plastificación total por tensión en la sección después de alcanzar la carga de pandeo; en los demás se presentó una rotura inicial y desgarre de las fibras tensionadas e incluso pudo presentarse algo de torsión accidental debido al encorvamiento que presentaban los perfiles, esta situación se puede ver en la forma de falla del puntal MA31 en la fotografía 108, nótese también que en el cambio de duramen que del puntal MA32, pudo presentarse también algo de torsión debido a la diferencia de densidad y por tanto de resistencia de las dos porciones y se alcanza a notar que las fibras de la porción oscura en la zona de tensión son más cortas que las de la porción clara indicando que la zona oscura absorbió mayores esfuerzos de tensión respecto a la zona blanda Fotografía 109.



Fotografía 108, Falla del puntal MA31



Fotografía 109, Falla del puntal MA32



Fotografía 110, Falla del puntal MA33



Fotografía 111, Falla típica de puntal metálico

La falla presentada por todos los puntales metálicos, está referida a pandeo local por aplastamiento de almas y patines en la zona de compresión fotografía 111; adicionalmente, en las fotografías 112 y 113, se muestra que la falla por pandeo local se encuentra cerca a una zona en donde quedaron platinas de conexión del perfil despiezado, estas platinas refuerzan indirectamente el perfil metálico pero a su vez son concentradoras de esfuerzo cortante que incrementan la carga de compresión para el alma o patín adyacente, propiciando una apreciable pérdida de ductilidad por rápida plastificación.



Fotografía 112, Falla típica de puntal metálico Fotografía 113, Falla típica de puntal metálico

Los resultados de los ensayos de compresión de puntales con extremos simplemente apoyados se resumen a continuación en las tablas 13.3 y 13.4.

Tabla 13.3, Resultados del ensayo de compresión en puntales completos de madera

Identificación del puntal	MA - 30	MA - 31	MA - 32	MA - 33
Altura de la sección	7,63 cm	6,57 cm	7,55 cm	6,45 cm
Base de la sección	7,42 cm	5,23 cm	6,81 cm	6,41 cm
Area neta de la sección	56,61 cm ²	34,36 cm ²	51,42 cm ²	41,34 cm ²
Longitud entre apoyos	220,00 cm	220,00 cm	220,00 cm	220,00 cm
Coefficiente de longitud efectiva	1,00	1,00	1,00	1,00
Longitud efectiva del puntal	220,00 cm	220,00 cm	220,00 cm	220,00 cm
Radio de giro en sentido débil de la sección	2,14 cm	1,51 cm	1,97 cm	1,85 cm
Relación de esbeltez del puntal	29,65 cm	42,07 cm	32,31 cm	34,32 cm
Tipo de puntal	No esbelto	No esbelto	No esbelto	No esbelto
Carga de pandeo registrada	4185,50 Kg	1876,00 Kg	4325,00 Kg	2021,00 Kg
Esfuerzo crítico de pandeo detectado	7,25 MPa	5,36 MPa	8,25 MPa	4,80 MPa

Tabla 13.4, Resultados del ensayo de compresión en puntales metálicos completos

Identificación del puntal	S - 1	S - 2	S - 3	S - 4	S - 5
Altura de la sección	60,09 mm	60,17 mm	60,18 mm	60,13 mm	60,18 mm
Base de la sección	30,12 mm	30,25 mm	30,27 mm	30,30 mm	30,35 mm
Espesor de la sección	1,58 mm	1,55 mm	1,56 mm	1,56 mm	1,58 mm
Area neta de la sección	274,24 mm ²	270,36 mm ²	272,97 mm ²	272,90 mm ²	275,26 mm ²
Momento de inercia de la sección	43757,74 mm ⁴	43581,03 mm ⁴	44003,16 mm ⁴	44061,35 mm ⁴	44569,32 mm ⁴
Longitud entre apoyos	2243,00 mm	2236,00 mm	2237,00 mm	2238,00 mm	2235,00 mm
Coefficiente de longitud efectiva	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Radio de giro en sentido débil de la sección	12,63 mm	12,70 mm	12,70 mm	12,71 mm	12,72 mm
Relación de esbeltez del perfil	177,57	176,12	176,19	176,13	175,64
Relación de esbeltez del alma o la aleta	38,15	38,87	38,50	38,47	38,21
Esfuerzo de fluencia asumido	200,00 MPa	200,00 MPa	200,00 MPa	200,00 MPa	200,00 MPa
Modulo de elasticidad asumido	200,00 GPa	200,00 GPa	200,00 GPa	200,00 GPa	200,00 GPa
Parámetro de esbeltez de la sección	148,9432778	148,9432778	148,9432778	148,9432778	148,9432778
Tipo de puntal a compresión	Largo	Largo	Largo	Largo	Largo
Parámetro de esbeltez del patín o del alma	44,27	44,27	44,27	44,27	44,27
Tipo de esbeltes de patín o alma	No esbelto	No esbelto	No esbelto	No esbelto	No esbelto
Esfuerzo de Euler	62,60 MPa	63,64 MPa	63,59 MPa	63,63 MPa	63,98 MPa
Esfuerzo crítico de pandeo para puntal intermedio	52,52 MPa	53,68 MPa	53,61 MPa	53,66 MPa	54,06 MPa
Esfuerzo crítico de pandeo para puntal largo	54,90 MPa	55,81 MPa	55,76 MPa	55,80 MPa	56,11 MPa
Esfuerzo crítico de pandeo para el puntal	54,90 MPa	55,81 MPa	55,76 MPa	55,80 MPa	56,11 MPa
Carga última registrada	4455,00 Kg	3785,00 Kg	3801,00 Kg	4205,00 Kg	4341,00 Kg
Carga de pandeo registrada	2242,00 Kg	2108,00 Kg	2164,00 Kg	2385,00 Kg	2107,00 Kg
Esfuerzo crítico de pandeo detectado	80,20 MPa	76,49 MPa	77,77 MPa	85,73 MPa	75,09 MPa

CAPITULO 8

COMPARACION DE COSTOS FRENTE A MATERIALES NUEVOS

A continuación se hace un breve comentario acerca del costo probable que puede tener una vivienda cuya estructura portante sea realizada con los materiales reciclados, frente a una con materiales nuevos de similares características mecánicas y geométricas.

8.1. Material de madera

Teniendo en cuenta únicamente la densidad de los grupos 2 y 3, se puede afirmar que el costo promedio de un perfil de madera de sección transversal 5.0 cm x 5.00 cm es de 650 pesos por metro lineal incluyendo el impuesto a las ventas IVA, es decir, aproximadamente 560 pesos en costo directo.

Un perfil de similares características mecánicas podría ser de sección transversal de 4.00 cm x 4.00 cm, de una especie de madera llamada Comino, muy usada para durmientes de la estructura de cubiertas livianas y techos falsos; este perfil en un depósito mayorista puede encontrarse con un costo promedio de 4,500 pesos en costo directo y con longitudes estándar de 2.90 m.

El costo promedio por metro lineal de este durmiente es de 1551 pesos, comparable con el costo total por metro lineal del perfil reciclado de 650 pesos; se compara el costo directo del material nudo, con el costo IVA incluido del material reciclado ya que en ocasiones, la madera en bloque acerrada está exenta de IVA.

La diferencia en costo de adquisición de material es de un 58.09% más económico el reciclado frente al nuevo.

Es claro que ambos materiales requieren de un proceso de acabado y transformación para entrar a ser parte de la estructura o la arquitectura de una vivienda, como también es claro que la longitud mínima del perfil nuevo puede estandarizarse en los 2.90 metros o se puede conseguir incluso de 4,00 metros de longitud, lo que implica una ventaja sobre el material reciclado.

Sin embargo, al optimizar el uso del perfil de reciclaje y adaptarlo geométricamente, se tiene apenas un 41.91% del costo del material nuevo, lo cual indica que se debería realizar un proceso de limpieza, aserrado y pulida que incremente el costo del material reciclado en una cantidad tan alta que no pueda competir con el 58.09% restante del costo del perfil nuevo, de manera tal que se vuelva poco atractivo económicamente el material reciclado de madera.

8.2. Material metálico

El perfil tubular estudiado de sección transversal 60 x 30 mm, tiene un costo promedio en la fuente de 1,580 por metro lineal.

Frente a este valor, el costo de un perfil de características similares, puede ser un perfil de acero A36 con la misma sección transversal; este perfil tiene un costo promedio en el mercado de 6.000 pesos el metro lineal, teniendo entonces una diferencia del 73.67% del costo del perfil nuevo.

Esta diferencia es mucho mayor en comparación con el perfil reciclado de madera y su costo como perfil nuevo; sin embargo, para el material metálico se pueden establecer diferentes tipos de intervención necesaria para acomodar el perfil reciclado y ponerlo a competir con el perfil nuevo.

Las intervenciones van desde simplemente pulir la superficie, hasta realizar reparaciones puntuales mediante la aplicación de soldadura y posterior pulimento por defectos de rasgado; esto puede incrementar notablemente el costo del material tubular de acero reciclado, pero claramente se ve que esta intervención tendría que generar costos muy elevado para que llegue a consumir el 73.67% del valor restante de un perfil nuevo.

8.3. Costo de la estructura

Como comentario final a la evaluación del costo de la estructura, se puede decir que si esta se realiza exclusivamente en madera, la disminución contemplando los procesos de preparación del material puede ser del orden de un 40%, mientras que si se realiza en acero esta disminución podría llegar a ser del 60% del costo con material nuevo que requiere poco proceso de preparación.

El costo total de la construcción comparando materiales nuevos y reciclados puede ser material interesante para una futura investigación, ya que al combinar los dos materiales tanto en la estructura como en los acabados, se puede buscar una economía que podría resultar muy interesante para el propietario de la vivienda sabiendo que su casa tendrá un buen comportamiento estructural ante las cargas propias de su construcción, su valor arquitectónico puede ser superior frente a otras construcciones subnormales y adicionalmente su costo es muy reducido comparado con el de una vivienda similar, construida con materiales nuevos.

CONCLUSIONES

Conclusiones sobre construcciones sub normales

El estudio de los materiales Arquitectónicos, Estructurales y Sostenibles, significó la identificación de la cultura informal de las construcciones en la ciudad de Bogotá, más específicamente en sus alrededores donde predominan este tipo de construcciones y que seguramente se extiende a lo largo y ancho del país con características similares.

En la exploración de las viviendas subnormales encontramos diferentes tipologías de auto construcción artesanal con materiales de desecho y reciclaje, muy parecidos a los materiales de la Fuente estudiada.

En la mayoría de las construcciones visitadas, se evidencia que la forma en que se emplearon estos materiales, desaprovecha en gran medida la capacidad estructural de algunos de ellos; por ejemplo, los perfiles rectangulares de madera usados como vigas se han colocado de canto, lo cual genera mayor inercia, pero al haberla usado acostada o al haber empleado perfiles cuadrados, se hubiera aprovechado una mayor longitud resistente a pandeo por compresión de las fibras superiores o a pandeo por flexo torsión en el caso de una columna.

Otro ejemplo del caso anterior, son las láminas metálicas de la vivienda – montallantas, donde los refuerzos en perfil omega hubieran podido estar alineados verticalmente, generando la estructura portante y el sitio de anclaje para un segundo piso.

Mediante la búsqueda de materiales específicos para el estudio de sus propiedades mecánicas, decidimos trabajar con perfiles de madera y perfiles tubulares metálicos que encontramos en un depósito de materiales reciclados al que llamamos siempre **La Fuente** debido a que nos solicitaron no difundir su nombre; estos materiales resultaron de gran interés debido a su gran cantidad, la diversidad de formas, tamaños y la potencial posibilidad de incluirlos en la estructura portante de construcciones una vez conocidas sus propiedades.

Conclusiones sobre especímenes de madera

Uno de los objetivos de esta investigación fue el de encontrar un valor de propiedad mecánica óptima para poder especificar estos materiales en el diseño y lograr realizar una construcción con

ellos, lo cual se logró sometiendo probetas de los materiales reciclados a los ensayos estandarizados y generando protocolos de ensayo y análisis apropiados debido a algunas inconsistencias que se presentan entre los estándares y lo realmente encontrado, dichas inconsistencias obedecen a la naturaleza propia de los materiales que estudiamos.

Una de las características más importantes encontradas en el estudio de los especímenes de madera, fue que al comparar las magnitudes de los defectos permitidos en la normatividad con los encontrados en el material de la fuente, las diferencias en cuanto a perfiles se refiere no tenían mayores diferencias salvo en defectos como la inclinación de la fibra y la cantidad de nudos presentes en el perfil; esta similitud nos llevó a idear un cuadro de calificaciones para darle a un perfil la calidad de **estructural o no estructural** con base en su apariencia exterior y en lo que se puede analizar del perfil a simple vista.

Se mencionó que por ser una metodología enteramente cualitativa, se necesitaba cierta experticia en la escogencia y calificación del material para realizar dicho procedimiento con el fin de no incluir perfiles deficientes en una estructura portante; sin embargo, mediante la explicación de cada uno de los defectos y el uso del sentido común, concluimos que la escogencia del material se hace muy sencilla teniendo en cuenta los resultados de las pruebas realizadas tanto en probetas como en elementos completos que nos dan una idea del comportamiento del material, incluso con la presencia de los defectos mencionados en la calificación y es posible que el grado de incertidumbre respecto a la funcionalidad del perfil escogido se reduzca.

Para la realización de la autoconstrucción de una vivienda, el propietario debería tener una capacitación básica acerca de la escogencia del Material que va a ser parte de la estructura portante de su casa y esta capacitación debería incluir el protocolo para la clasificación que se desarrolló en este documento, cuya tabla de calificación se muestra en el **Anexo No 1, Formatos de clasificación visual del espécimen de madera**; de no ser así, se correría el riesgo de seleccionar perfiles con los mayores defectos posibles que seguramente serán mejores en precio frente a los que se puedan clasificar como estructurales.

Una vez realizada la clasificación visual de los materiales de madera, nos concentramos en la realización de los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de los especímenes, en esta fase realizamos hallazgos tan importantes como el haber determinado que la humedad de equilibrio de estos materiales se acerca al 11% y emplear esta magnitud para calcular un factor de corrección por humedad para los datos de los ensayos de flexión, compresión paralela y tensión.

Esta magnitud del porcentaje de contenido de humedad la determinamos con precisión de los pesos húmedos y secos de las probetas que se ensayaron y fueron datos que se recolectaron a lo largo de un año de buscar los perfiles, tenerlos un tiempo almacenados a temperatura ambiente y mientras se extrajeron las probetas y se ensayaron, con lo cual concluimos que es un dato verídico y que se acerca fielmente a la realidad de la humedad de equilibrio de nuestros materiales maderables de la Fuente.

Posteriormente se realizaron los ensayos definidos al principio del documento sobre las probetas extraídas de los especímenes; estos ensayos se realizaron con base en las normas ASTM y NTC aplicables y en las probetas se incluyó la mayor cantidad de defectos grandes y pequeños que se

podrían tener, esto se hizo con el fin de determinar las propiedades disminuidas con los defectos que fueron aprobados en la clasificación visual realizada y que están presentes en la totalidad de los materiales que podemos conseguir en La Fuente.

Con lo anterior, toma validez la reducción del grado de incertidumbre de los especímenes estructurales ya que sus defectos están incluidos en el estudio realizado.

Con la colección de los datos de los ensayos, construimos curvas de esfuerzo – deformación y determinamos los esfuerzos últimos y elásticos de los materiales de madera.

Empleamos procedimientos estadísticos reconocidos para descartar datos atípicos y relacionar la propiedad de densidad con la propiedad mecánica buscada; aquí es importante resaltar que al principio del documento se determinaron tres grupos de clasificación respecto al peso y apariencia del espécimen, estos tres grupos fueron confirmados posteriormente con la realización de los ensayos y con la relación de densidad vs propiedad mecánica en donde se determinó con bastante precisión que los especímenes del grupo de clasificación No 1 no deben emplearse en la construcción de la estructura portante a pesar de haber tenido calificación estructural en la clasificación visual.

La razón fundamental de no incluir especímenes del grupo No 1 es que esta madera puede provenir de árboles muy jóvenes y su resistencia mecánica es limitada y de muy poca ductilidad, estos materiales se caracterizan por tener colores muy pálidos, anillos muy gruesos y en poca cantidad, y su densidad es menor comparados con los grupos de clasificación 1 y 2; también se definió que este grupo No 1, se puede emplear en la fabricación de otros elementos en la vivienda como son muebles, closets y estantería, que también requieren de cierta resistencia mecánica y además aprovechar la excelente apariencia estética que poseen los especímenes de este grupo.

Las imágenes que se muestran a continuación, pertenecen a especímenes del grupo de clasificación No 1:

Remitiéndonos nuevamente al cuadro de clasificación visual, son muy fácilmente identificables los especímenes del grupo No 1 comparando la densidad al tanteo y la apariencia respecto a otros especímenes, por lo tanto no es necesariamente fácil errar al escoger estos especímenes del grupo No 1 para uso estructural.

Los valores de las propiedades mecánicas de los materiales maderables de la Fuente y sus expresiones de correlación con la densidad se muestran a continuación; estos valores los tomamos como característicos de esta investigación y deberían emplearse con cuidado y con criterio del ingeniero diseñador para especificar construcciones a partir de estos materiales, en especial en sollicitaciones a tensión, para las cuales se ha dicho que estos materiales no son muy funcionales.

Estos valores adoptados están resumidos en las tablas 11.0 Y 11.1 que se reproducen a continuación:

Tabla 11,0 Valores adoptados de las propiedades mecánicas de los especímenes de la Fuente

ENSAYO	SUB GRUPO	Fy	Fu	E
Flexión en probetas	1	14,86 MPa	18,79 MPa	2553,05 MPa
	2	19,11 MPa	37,47 MPa	5700,60 MPa
Compresión perpendicular a la fibra	1	5,00 MPa	F1% 1,77 MPa	138,61 MPa
	2	3,95 MPa	F1% 1,27 MPa	88,75 MPa
Compresión paralela a la fibra	1	14,65 MPa	11,30 MPa	257,00 MPa
	2	18,84 MPa	22,53 MPa	573,85 MPa

ENSAYO	SUB GRUPO	Fu
Tensión perpendicular a la fibra	2	1,90 MPa
Corte paralelo a la fibra	2	6,10 MPa
Tensión paralela a la fibra	2	4,67 MPa

Tabla 11,1 Expresiones encontradas para densidad (ρ) vs propiedad mecánica (F)

ENSAYO	Fy	Fu	E
Flexión en probetas	$F_y = 10.442(1.002)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$	$F_r = 1.264(1.008)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$	$MOE = 1.643(1.018)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$
Compresión perpendicular a la fibra	$F_y = 16.77(0.998)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$	$F_{1\%} = 9.218(0.997)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$	$E = 1628.06(0.995)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$

ENSAYO	Fu
Tensión perpendicular a la fibra	$F_u = 8.841(2.535)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$
Corte paralelo a la fibra	$F_u = 1.236(1.010)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$
Tensión paralela a la fibra	$F_u = 0.125(1.010)\left(\frac{\rho}{1.04144}\right)$

Como era de esperarse, los defectos que más incidencia tienen en la forma de falla y la baja resistencia son la inclinación de la fibra y la cantidad y tamaño de los nudos. En especial el defecto de los nudos incide en la resistencia de las solicitaciones a tensión por flexión y a tensión pura, por lo tanto, es necesario que este defecto sea localizado para el caso de vigas, en la parte superior o inferior donde la sollicitación se produzca a compresión y evitar al máximo sollicitaciones de tensión ya que adicional al nudo, se determinó en esta investigación que la capacidad de la madera de la Fuente a tensión pura no es de magnitudes importantes.

Durante los ensayos realizados a los especímenes de madera se evidenció que los nudos que están orientados hacia una arista, sean de gran tamaño o no, provocan una torsión que podríamos llamar accidental cuando en ellos se concentra una compresión ya sea por flexión o por compresión paralela, lo cual desencadena mayores tensiones en un punto que esté simétricamente alejado de la zona del nudo; con esto se puede concluir que los nudos que no están centrados en los elementos van a ser frágiles debido a la alta concentración de esfuerzo de compresión que son capaces de resistir vs las grandes zonas de tensión generadas que como ya se ha visto, es una de las falencias de este material reciclado.

Contrario a esto, la presencia de un nudo no orientado hacia una arista sino que ocupe cierta franja de la sección transversal pero en todo lo ancho del perfil, puede llegar incluso a resistir mayor carga antes de la rotura por efecto de la sobre resistencia que pueden ofrecer las fibras que al estar cercanas a las zona de compresión del nudo, no se tensionan sino que se comprimen

también alejando el eje neutro de la sección de la zona de compresión. Esto claro también puede llegar a ser peligroso ya que la falla a compresión o a tensión de la zona alrededor del nudo es frágil, sin embargo se debe recordar que el diseño con madera y en especial con estos materiales reciclados es netamente elástico, por lo tanto no deberían escogerse los perfiles para que lleguen a rotura.

Por otro lado, los nudos que presente el perfil ya sean grandes o pequeños, arracimados o no, no deben ubicarse de tal manera que su sollicitación sea a tensión, esto debido a que se ha determinado que la resistencia al tensión de estas maderas no es óptima y por lo tanto adicionar un problema de nudo a la tensión seguramente resultará en una falla inminente del perfil de madera.

El defecto de desviación del grano parece no haber sido algo determinante en la reducción de resistencias de la mayoría de los ensayos, sin embargo, para la sollicitación de tensión, claramente la gran desviación de la fibra incide en un 100% ya que casi ninguna fibra dentro del cuerpo de la probeta se desarrolla de principio a fin entonces la resistencia de la probeta resulta dada por la adherencia del ligante y no por la rotura de la fibra, así mismo, en algunas pocas probetas, la falla se presentó por cortante en la cabeza de las mordazas y no por rotura en el cuerpo calibrado de la probeta. Lo anterior es la razón de peso para que los materiales de madera reciclada no sean expuestos a sollicitaciones por tensión.

Las gráficas realizadas de densidad vs propiedad mecánica son poco dicentes debido a que la dispersión de datos no permitió visualizar una correlación lineal o exponencial medianamente definida en los datos, por lo tanto como se mencionó en varias oportunidades, la expresión que relaciona la propiedad mecánica en términos de la densidad, solo es un ejercicio académico que puede eventualmente servir como guía de la resistencia del espécimen al medir su masa pero definitivamente resulta conservador y muy prudente, emplear el valor de propiedad mecánica definida como el percentil 10% para cada sollicitación.

Aunque los resultados de los ensayos mecánicos del grupo 1 no son despreciables, se puede pensar que la madera del grupo 2 y 3 podría ser empleada en la estructura portante de la vivienda, mientras que la madera del grupo 1 podría ser empleada en la fabricación de muebles portantes como closet, mesas y repisas aprovechando adicionalmente el potencial arquitectónico que posee; a esto se suma, que la herramienta necesaria para limpiar y pulir esta madera, tendría menor desgaste ya que la dureza de este grupo también es menor.

Conclusiones sobre especímenes metálicos

Los especímenes metálicos, por su naturaleza de materiales fundidos y pre elaborados, presentan condiciones de estudio bastante más sencillas que los materiales de madera, a estos especímenes se les aplicaron solamente dos ensayos para encontrar sus propiedades mecánicas; se realizó el análisis de composición química para determinar qué tipo de material es y se realizaron ensayos de tensión en probetas con el fin de correlacionar los resultados con las propiedades mecánicas teóricas del material determinado por análisis de composición química.

En cuanto a los ensayos de tensión en probetas, resultó que la dificultad en la extracción manual de las probetas incidió negativamente en los resultados obtenidos ya que el material se afectó por ejemplo cuando se empleó un soplete para cortar el perfil de la probeta o al emplear también un disco de pulir muy agresivo para realizar igualmente la silueta; el calentamiento del material por el soplete y las microfisuras generadas por el disco de carbono, modificaron la estructura del material y generaron como ya se ha dicho variaciones muy notorias en las propiedades del material, en especial en su módulo de elasticidad.

Esta deficiencia en la extracción de las probetas, lejos de ser un problema, lo acatamos como una posible medida del factor de seguridad aplicable a los diseños con el material metálico, esto soportado en la posibilidad de que los constructores empleen herramientas similares para realizar los cortes o las conexiones necesarias para el montaje de la estructura metálica con estos perfiles, ya que no siempre se puede tener control en la construcción de una vivienda con estos materiales reciclados.

Los perfiles metálicos despiezados que se consiguen en La Fuente, poseen al igual que los de madera, cierto tipo de defectos muy fácilmente apreciables y que deben ser descartados mediante una clasificación visual para poder aprovechar todo el potencial resistente que tienen estos materiales, es así que también se definió un formato de clasificación visual más sencillo que el de los perfiles de madera, con el fin de facilitar la escogencia de estos perfiles.

El formato empleado en la clasificación visual de perfiles metálicos se puede consultar en el numeral **7.2 Clasificación visual de los materiales**.

Mediante el análisis químico realizado a los especímenes metálicos, se pudo identificar plenamente el material disponible, el cual se determinó como un acero tipo SAE 1006 y SAE 1016, estos dos tipos de acero al carbono tienen propiedades mecánicas muy diferentes, por lo tanto se definieron las magnitudes de estas propiedades respecto al acero SAE 1006 y aplicando los factores de seguridad determinados con las deficiencias de las probetas del ensayo de tensión.

Los valores de las propiedades mecánicas adoptados para los materiales metálicos de la fuente, se muestran en la tabla 12.12 que se reproduce a continuación:

Tabla 12.12 Propiedades mecánicas del material de los perfiles de la Fuente

Propiedad	Magnitud
Resistencia última	264,00 MPa
Límite de elasticidad	228,00 MPa
Módulo de elasticidad **modificado	160000,00 MPa

Las gráficas esfuerzo deformación de las probetas ensayadas a tensión indican dos áreas perfectamente definidas incluso para las probetas que presentaban defectos; la primera de estas áreas está delimitada por una línea envolvente que determina un comportamiento seudo lineal hasta un punto de inflexión que teóricamente podríamos llamar punto de fluencia del material y que se ha definido para este estudio como 228 MPa; a este punto de fluencia en las ordenadas, le corresponde en las abscisas una deformación aproximada entre 0.0018 y 0.004; a partir de este

rango de deformación, la máquina de ensayo registra deformaciones de hasta 0.04 para las probetas con menor cantidad de defectos, esto indica que el material posee su resiliencia natural y una gran tenacidad de acuerdo a la gran cantidad de área bajo la curva esfuerzo deformación, que también nos hace pensar en capacidad de deformación en el rango inelástico para solicitaciones sísmicas, para lo cual disponemos de algo menos que 264 MPa como hemos definido la resistencia última del material.

Los resultados mostrados en la tabla 12.12 podemos compararlos por ejemplo con la resistencia de un acero tipo A36, en el cual su límite de fluencia es del orden de 250 MPa y su rotura de 400 MPa; teniendo en cuenta que los especímenes metálicos van a trabajar solo en estado elástico para construcciones de uno y dos pisos, la resistencia a la fluencia estaría solo un 8.80% por debajo del acero A36 y deberían desarrollarse conexiones friccionantes con el fin de no reducir la sección transversal del elemento de modo que no se requiera su verificación por esfuerzos últimos.

Conclusiones sobre elementos completos

Por último, realizamos pruebas de carga en perfiles metálicos y de madera los cuales se compraron y no se modificaron salvo para realizar el montaje en las máquinas de prueba; realmente, los únicos especímenes que fueron modificados son los perfiles metálicos que se ensayaron como vigas simplemente apoyadas; a estos perfiles se les soldó un anillo metálicos en los puntos críticos de esfuerzo cortante con el fin de garantizar que su falla fuera por flexión para determinar la carga máxima que resisten, los demás perfiles ensayados como vigas y puntales simplemente apoyados, no se sometieron a ninguna transformación.

Los resultados de esfuerzos últimos a flexión de las vigas de madera son concordantes con los resultados de los ensayos de las probetas a flexión y las cargas elásticas de estas vigas alcanzaron magnitudes de hasta 73 Kg que al compararlas con la sección transversal de las vigas ensayadas implican una resistencia muy adecuada para ser empleadas por ejemplo como correas de cubierta; si se emplean secciones mas grandes, es posible ubicarlas como vigas de entrepiso para una construcción sencilla con altillo o para solicitaciones más específicas, lo interesante de la prueba de carga, es haber definido esfuerzos últimos y elásticos similares a los encontrados en las probetas.

Igual sucede con las vigas metálicas, en donde el módulo de elasticidad registrado se asemeja al módulo de elasticidad **modificado definido para el material de La Fuente y se acerca más al módulo de elasticidad teórico del acero que es 200.000 MPa; en estas vigas, la carga máxima elástica fue de 143 Kg, lo cual resulta muy superior a la viga de madera.

Es de aclarar que las cargas de 73 Kg para viga de madera y 143 Kg para viga metálica obedecen al cálculo de la deflexión definida de $L/300$ en la NSR-10, teniendo secciones con peralte más grande o con vigas trabajando en conjunto con otras configurando diafragmas, seguramente la carga disponible a una deformación de $L/300$ será mucho mayor que trabajando como vigas simplemente apoyadas.

En la última visita realizada a La Fuente, se encontraron por ejemplo los perfiles metálicos en su estado original, es decir, recién bajados del camión transportador, a estos perfiles no se le había realizado ningún procedimiento de limpieza ni despiece, por lo tanto los encontramos soldados configurando un armazón rectangular de 2.40 m de largo por 1.25 m de ancho, lo cual implica que es posible emplearlos como módulos de entrepisos configurando espacios con las limitaciones geométricas de estos módulos para no afectar su rigidez y resistencia natural.

En cuanto a los perfiles metálicos y de madera sometidos a compresión y simplemente apoyados, los resultados hablan por si solos; se obtuvieron cargas elásticas de compresión del orden de 2100 Kg tanto para metal como para madera.

Estos resultados de los puntales, indican que están en capacidad de resistir las solicitaciones verticales y horizontales de una vivienda de dos pisos diseñada con muros de carga arriostrados mediante puntales diagonales trabajando a compresión en el caso de la madera, ya que como se ha dicho anteriormente, el desempeño de la madera trabajando a tensión no es óptimo y a tensión y compresión en el caso de los perfiles metálicos.

Conclusiones generales:

Como conclusión final a este trabajo de investigación de materiales reciclados, podemos decir que los materiales estudiados de La Fuente adquiridos en formas prismáticas y tubulares, están en capacidad de pertenecer a una solución estructural de vivienda rural de un piso e incluso pueden ser empleados en viviendas de dos pisos con solicitaciones menores, ya que aunque los resultados han sido satisfactorios, no debemos olvidar que son materiales reciclados con un historial de carga y esfuerzos desconocido y se deben emplear con precaución.

Para optimizar el uso de los materiales de la fuente, estos podrían ser mezclados con materiales nuevos y de calidad garantizada que configuren la estructura principal resistente a cargas horizontales, mientras que los perfiles de madera pueden ser los elementos estructurales secundarios como viguetas, correas, diagonales, que sean susceptibles de redistribuir los esfuerzos a otros perfiles en caso de falla, así mismo, puede haber una mezcla optima de perfiles metálicos que son más confiables para elementos principales, con perfiles de madera para elementos estructurales secundarios, con esto se optimizaría el diseño de una vivienda de uno o dos pisos tanto técnicamente, como económicamente.

Para finalizar este trabajo de Maestría en Estructuras, podemos afirmar que el objetivo de acuñar una expresión que combine la estética, la seguridad estructural y la economía en una sola construcción está comenzando, con el estudio de materiales alternativos que no sean una primicia sino que sean bien conocidos como lo son la madera y el acero; que no sean un boom industrial sino que provengan de la experimentación y de la iniciativa de re-posicionar los desechos industriales, de transformar objetos obsoletos en herramientas útiles y cargadas de creatividad; esta expresión que buscamos acuñar en la conciencia del lector es la del conocimiento de los materiales **A. E. S. Arquitectónicos, Estructurales, Sostenibles...**

RECOMENDACIONES PARA FUTUROS TRABAJOS

Inicialmente se contempló el estudio de láminas metálicas y de madera dentro del alcance del trabajo final de maestría; sin embargo, como se describe en el inciso **FUENTE DE MATERIALES**, estas láminas no son de fácil acceso debido a que no hay stock suficiente para generar una continuidad en el suministro y esta situación se presenta tanto en la empresa de reciclaje que nos sirvió de fuente de materiales como en otras empresas que fueron visitadas y consultadas en la ciudad de Bogotá y en otras ciudades principales del país.

Se pudo concluir que el costo económico de realizar una auto construcción con los materiales de La Fuente es bajo comparado con el costo de materiales de primera calidad y de comportamiento mecánico similar; se aclara que aún falta realizar mucho trabajo de investigación para terminar de estudiar la manera de emplearlos los materiales de manera eficiente con el desarrollo de conexiones y el aprovechamiento arquitectónico tanto en el desarrollo de un modelo de auto construcción como en la definición de acabados de pisos y muros empleando los mismos materiales que se consiguen en La Fuente.

Aplicando los conocimientos adquiridos en esta investigación y direccionándolos al diseño y construcción de viviendas con materiales reciclados, se podría mejorar notablemente la capacidad estructural de construcciones realizadas con este tipo de materiales, adicionalmente, sería necesario incluir otros profesionales que desarrollen el diseño de la estructura, el diseño de las conexiones y que generen un mejor valor arquitectónico a la construcción.

Existen condiciones que no se han contemplado en este trabajo de investigación pero que a la postre son necesarias para ahondar en el diseño de una vivienda empleando los materiales reciclados; estas condiciones son el tipo de conexiones que no han sido estudiadas, el tipo de cimentación y anclaje de la estructura al suelo de fundación, el tipo de cubierta y su aporte de rigidez a la estructura y la evaluación del tipo y magnitud de cargas verticales y horizontales aplicables al diseño de estas estructuras; todas estas consideraciones están enfocadas al diseño de la edificación con los materiales reciclados, que no es del alcance del presente trabajo y quedan como recomendaciones para desarrollos futuros.

BIBLIOGRAFIA

American Society of Testing Materials. ASTM D 4442 – 92 (Reapproved 2003) “Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials”.

American Society of Testing Materials. ASTM D 4761 – 02a “Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material”.

American Society of Testing Materials. ASTM E8/E8M – 09a “Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials”.

American Society of Testing Materials. ASTM A 0751 – 01 “Standard Test , Practices, And Terminology for Chemical Analysis of Steel Products”.

American Institute of Steel Construction, Inc. AISC Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges. Chicago, Illinois, United States of America. (2005).

California Building Standards Commission. 2001 California Building Code. Sacramento, California, United States of America. (2001).

Junta del Acuerdo de Cartagena PADT-REFORT. Manual de diseño para maderas del grupo andino. Lima Perú. (1984).

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10. Bogotá D. C. Colombia. (2010).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 206-1, Maderas, Determinación del contenido de humedad para ensayos físicos y mecánicos. Colombia. (2005).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 663, Maderas, Determinación de la resistencia a la flexión. Colombia. (2003).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 775, Maderas, Determinación de la resistencia al cizallamiento paralelo al grano. Colombia. (2004).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 784, Maderas, Determinación de la resistencia a la compresión axial o paralela al grano. (2004).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 785, Maderas, Determinación de la resistencia a la compresión perpendicular al grano. (2004).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 944, Maderas, Determinación de la tracción paralela al grano. (2003).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 961, Maderas, Determinación de la tracción perpendicular al grano. (2003).

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC. Norma Técnica Colombiana, NTC 3353, Siderurgia, Definiciones y métodos para los ensayos mecánicos de productos de acero. (2003).

Jaime Salazar Contreras. Maderas Colombianas: Propiedades y criterios de diseño. Departamento de ingeniería civil y agrícola, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia. (2011).

Jaime Salazar Contreras. Método para la Determinación de la resistencia y parámetros elásticos de las maderas Colombianas, primera edición. Departamento de ingeniería civil y agrícola, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia. (1993).

Mateo Gutiérrez González. Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la guadua Angustifolia Kunth. Departamento de ingeniería civil y agrícola, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia. (2011).

Fernando Bolivar L., et al. Vivienda campesina productiva – Los Soches Usme. Bogotá D. C., Colombia. (2010).

Jairo Escobar. Diapositivas Ingeniería de materiales, Introducción metales. Universidad de los Andes. Bogotá D. C., Colombia. (2012).

J. Botella, et al. Efecto del contenido de azufre y del grado de desoxidación sobre la ductilidad en caliente de aceros inoxidables austeníticos resulfurados en estado de solidificación. Centro I+D de Acerinox, S.A., Fábrica del Campo de Gibraltar. Cádiz, España. (1998).

Gerdau Aza S. A.. Compendio de normas para productos de acero tercera edición. Renca, Santiago de Chile. (2000).

Osvaldo Encinas, et al. Efecto del contenido de humedad en la madera de pino caribe para embalajes, sometida a tratamiento térmico, NIMF 15. Revista forestal Venezolana, Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Venezuela. (2010).

Departamento de Química Analítica y Tecnología de Alimentos. Diapositivas, Química analítica aplicada. Departamento de Química Analítica y Tecnología de Alimentos, Universidad de Castilla -

la Mancha. Castilla-la Mancha, España. (2008).

Mateo Gutiérrez González. Factor de corrección por contenido de humedad para la resistencia a tensión paralela a la fibra de la guadua *Angustifolia* Kunth. Departamento de ingeniería civil y agrícola, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D. C., Colombia. (2011).

Eva Hermoso Prieto. Caracterización mecánica de la madera estructural de *pinus sylvestris*. Departamento de industrias forestales, Escuela técnica superior de ingenieros de montes. Madrid, España. (2001).

Alvaro Pérez del Castillo. Módulo de Elasticidad y Módulo de Rotura en Tablas de Tamaño Real de *Pinus elliottii* del Sur de Uruguay, Informe de investigación No 7. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales, LATU-JICA. Montevideo, Uruguay. (2003).

International Standards for Phytosanitary Measures. ISPM No. 15 Regulation of wood packaging material in international trade. (2009).

Luis de Garrido. Proyecto GAIA, siete prototipos de vivienda sostenible. España. (2009).

11° Bienal de Arquitectura de Venecia. El futuro de la arquitectura está en los materiales tradicionales. Venecia, Italia. (2008).

Luis de Garrido. 5 Arquitecturas Sostenibles: Mala normativa, mala arquitectura y buen Marketing sostenible... Un análisis sobre la necesidad de definir de forma consensuada lo que se entiende por -Arquitectura Sostenible. España. (2006).

Grupo de Mecánica de Sólidos. Modelación de materiales compuestos y sus aplicaciones. Revista de ciencias matemáticas Vol. 21 – 1 -2008, Facultad de Matemática y Computación, Universidad de La Habana. La Habana, Cuba. (2008).

Rosana Gaggino. Tecnología de reciclado para la auto construcción de viviendas. Concejo Nacional de Investigaciones científicas y Tecnológicas CONICET- de la República Argentina. Buenos Aires, Argentina. (2007).

LISTADO DE ANEXOS

- ANEXO No 1: FORMATOS DE CLASIFICACION VISUAL DEL ESPECIMEN DE MADERA NORMAS: NSR-10 Y PADT-REFORT
- ANEXO No 2: DETERMINACION DE LA RESISTENCIA A FLEXION – NTC 663
- ANEXO No 3: ENSAYO DE TENSION PARALELA A LA FIBRA - NTC 944
- ANEXO No 4: ENSAYO DE COMPRESION PARALELA A LA FIBRA - NTC 784
- ANEXO No 5: ENSAYO DE COMPRESION PERPENDICULAR A LA FIBRA - NTC 785
- ANEXO No 6: ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR A LA FIBRA - NTC 961
- ANEXO No 7: ENSAYO DE TENSION PARALELA A LA FIBRA - NTC 944
- ANEXO No 8: TABLAS DE VALORES DEL COEFICIENTE DE DISTRIBUCION t - STUDENT
- ANEXO No 9: ANEXO No 9 DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DEL ESFUERZO ULTIMO A TENSION PARALELA
- ANEXO No 10: DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE COMPRESION PARALELA
- ANEXO No 11: DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE COMPRESION PERPENDICULAR
- ANEXO No 12: DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE TENSION PERPENDICULAR
- ANEXO No 13: DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCION DE LAS PROPIEDADES DEL ENSAYO DE CORTE PARALELO
- ANEXO No 14: COMPOSICION QUIMICA DE LOS ACEROS DE LA SERIE SAE 10XX
- ANEXO No 15: GRAFICAS ESFUERZO - DEFORMACION PARA LAS PROBETAS DEL ENSAYO DE TENSION EN METALES